

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Elektroerozivní drátové řezání a návrh materiálu střížníků ve
firmě MASSAG Stamping a. s.

Electroerosion Wire Cutting and Proposal of Material for Cutting
Boards in the firm MASSAG Stamping a. s.

Student: Bc. Tomáš Klein
Vedoucí diplomové práce: Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.

Ostrava 2011

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Klein**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Téma: Elektroerozivní drátové řezání a návrh materiálu střížníků ve firmě
MASSAG Stamping a. s.
Electroerosion Wire Cutting and Proposal of Material for Cutting Boards
in the firm MASSAG Stamping a. s.

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky elektroerozivního řezání.
2. Analýza stávajícího procesu řezání střížníků.
3. Návrh procesu elektroerozivního řezání včetně materiálu střížníků.
4. Zhodnocení a přínosy navrženého řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 2. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [3] ČEP, R.; BRYCHTA, J.; SADÍLEK, M.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007, s. 251. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [4] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina : EDIS Žilina, 2007, s. 343. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [5] SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651. p. ISBN 0-19-514206-3.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011


doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 22.5.2011.....


.....

Podpis studenta

Prohlašuji že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb., autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohou jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/ 1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 22.5.2011


.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Klein Tomáš

Adresa trvalého pobytu autora práce: Bílovec, Tkalcovská 109/57, PSČ 743 01

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KLEIN, T. Elektroerozivní drátové řezání a návrh materiálu střížníků ve firmě MASSAG Stamping a. s. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2011, 52 s. Diplomová práce, Vedoucí: Petřů, J.

Práce se zabývá návrhem procesu elektroerozivního řezání včetně materiálu střížníku. Po úvodu do problematiky elektroerozivního řezání následuje analýza stávajícího procesu řezání střížníku ve firmě MASSAG Stamping a. s. Z analýzy je vycházeno při návrhu řešení. Návrh procesu elektroerozivního řezání střížníku je zaměřen na změnu konstrukce a technologie výroby pro zvolený příklad střížníku. Součástí práce je navržení nového nástrojového materiálu pro střížníky. Jako náhrada za dosud nejvíce používaný nástrojový materiál 1.2379 je navržená ocel TENASTEEL. Součástí práce je myšlenka návrhu nového stroje s důrazem na přehled výrobců a výběr typu stroje od jednotlivých značek. Pro výběr typu stroje jsou určující rozměry vyráběných součástí. V závěru je provedeno zhodnocení a přínosy navrženého řešení. V příloze jsou uvedeny výkresy pro ukázkový příklad střížníku.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

KLEIN, T. Electroerosion Wire Cutting and Proposal of Material for Cutting Boards in the firm MASSAG Stamping a. s. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2011, 52 p. Diploma Thesis, head: Petřů, J.

This thesis is concerned with a proposal regarding the material used in electroerosive cutting. An analysis of the current cutting process in MASSAG Stamping a. s. will follow an introduction of the electroerosive cutting process. The solution proposed is based on this analysis. This proposal is aimed at altering the technological aspects of constructing a specified cutting machine. This thesis rests on the proposition that a new material will make significant advancements in this machinery: namely a substitution of TENASTEEL for material 1.2379. Furthermore, this thesis will deal with an overview of the manufacturers of these machines and the selection of these types of machines by brand, as these types of machines are selected according to their specifics i.e. the machines dimensions. The thesis concludes with an evaluation of this resolution and citations. The supplement provides a blue print of the proposed machine.

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	8
Úvod	9
1. Úvod do problematiky elektroerozivního obrábění	11
1.1 Objev elektroerozivního procesu	11
1.2 Technologie elektroerozivního obrábění	11
1.2.1 Hlavní zákonitosti elektroeroze	12
1.2.2 Proces vzniku elektrického výboje mezi elektrodami	12
1.2.3 Povrchová vrstva	14
1.2.4 Parametry, které charakterizují proces elektroerozivního obrábění	16
1.3 Možnosti využití elektroerozivního obrábění	16
1.4 Technologie elektroerozivního řezání	17
1.4.1 Hlavní použití technologie	17
1.4.2 Nástrojová elektroda	17
1.4.3 Dielektrická kapalina	18
1.4.4 Stavba elektroerozivního řezacího stroje	19
2. Analýza stávajícího procesu řezání střížníku	20
2.1 Charakteristika podniku MASSAG Stamping a.s.	20
2.2 Rozbor střížného nástroje	21
2.2.1 Konstrukce střížných nástrojů	21
2.2.2 Rozdělení nástrojů pro stříhání	23
2.2.3 Konstrukce nástrojů u vybraného představitele	24
2.3 Strojní vybavení pracoviště elektroerozivního řezání	26
2.3.1 Řezací drát	27
2.3.2 Programování	28
2.3.3 Dielektrická kapalina	28
2.4 Zásady pro řezání komponentu střížného nástroje	29
2.5 Ukázkový příklad vyráběné součásti	33
2.5.1 Materiál střížníku	34
2.5.2 Technologický postup	35
2.5.3 Proces elektroerozivního řezání	35
3. Návrh procesu elektroerozivního řezání včetně materiálu střížníku	36
3.1 Návrh konstrukce a technologie výroby pro zvolený příklad střížníku	36
3.1.1 Technologický postup	38
3.1.2 Materiál střížníku	39

3.1.3	Povrchová úprava střížníku	40
3.2	Návrh nového WEDM stroje	42
3.2.1	Posouzení situace	42
3.2.2	Produktivita	42
3.2.3	Výrobci elektroerozivních drátových řezaček	42
3.2.4	Vybrané typy strojů jednotlivých výrobců	44
3.2.5	Náklady na pořízení nového stroje	45
3.2.6	Provozní náklady	45
3.2.7	Kalkulace nákladů na WEDM pracovišti	46
4.	Zhodnocení a přínosy navrženého řešení	47
5.	Závěr	48
	Použitá literatura	50
	Seznam příloh	52

Seznam použitých symbolů a zkratek

C – Capacitor - kondenzátor

CAD – Computer Aided Design – počítačem podporovaný návrh a konstrukce výrobku

CAM – Computer Aided Manufacturing – počítačem řízená výroba

CBN – kubický nitrid bóru

CNC – Computerized Numerical Control - číslicové řízení počítačem

CVD – Chemical Vapour Deposition – chemická metoda nanášení povlaku

ČSN – Označení českých technických norem

DOS – Disk Operating Systém – diskový operační systém

EDM – Electrical Discharge Machining - elektrojiskrové obrábění

EIR – elektrojiskrové řezání

EN – Evropská norma

F – síla [N]

GF – Georg Fischer

HB – tvrdost podle Brinella

HRC – tvrdost podle Rockvella

HV – Tvrdost podle Vickerse

ISO – International Organization for Standardization - Mezinárodní organizace pro normalizaci

MS - DOS – operační systém firmy Microsoft

MS – Microsoft

NC – Numerical Control – číslicové řízení

PVD – Physical Vapour Deposition – fyzikální metoda nanášení povlaku

R – Resistor - odpor

Ra – aritmetická úchylka profilu drsnosti [μm]

t – míra kroku

T_{on} – doba impulsu [μs]

WEDM – Wire Electrical Discharge Machining – elektrojiskrové drátové řezání

Úvod

Zavádění technologie elektroerozivního drátového řezání začalo od 70. let. Tato technologie našla své uplatnění při dělení velmi pevných a tvrdých materiálu (kalené oceli, titanové slitiny, elektricky vodivé keramické materiály, slinuté karbidy), ale doslova převrat způsobila v technologii výroby střížných nástrojů a postupně se stala nedílnou součástí nástrojářen sloužících pro provoz lisovacích strojů. Umožňuje snadnou a produktivní výrobu takových tvarově složitých nástrojů, jejichž výroba byla dříve velmi náročná a někdy i nemožná. Tvarově složité nástroje vytvořily nové možnosti konstrukce výlisků složitých tvarů. S postupným vývojem elektroerozivních drátových řezaček roste jejich výkonnost, přesnost, vybavení a možnosti, přičemž jejich cena je dnes proti prvním strojům výrazně nižší. V současnosti je technologie elektroerozivní drátové řezání velmi rozšířeným způsobem obrábění a drží si dominantní postavení ve výrobě střížných nástrojů.

Cílem práce je navržení procesu elektroerozivního řezání a navržení materiálu střížníků. Téma diplomové práce zadala firma Massag Stamping a.s., která soustřeďuje svou výrobu převážně v automobilovém průmyslu. Vyrábí ocelové výlisky včetně navařování (matice, šrouby, úchyty aj.) a povrchových úprav. Části lisovacích nástrojů jsou vyráběny ve vlastní nástrojárně. Nástrojárna je vybavena CNC obráběcími centry, konvenčními stroji na soustružení, frézování, vrtání a ve zvláštní oddělené části nekonvenčními stroji elektroerozivního řezání.

Firma má ve svém strojovém parku tři elektroerozivní drátové řezačky, které postupně pořídila v letech 2000 až 2003 jako použité. Z důvodu stárnutí strojů muselo dojít k snížení rychlosti řezání, což se projevilo na jejich produktivitě a zvýšením nákladů na výrobní proces nástroje. Zvyšování provozních nákladů stroje se projevuje především delší dobou řezání a spotřebou rezného drátu. Vzhledem k zvyšujícímu se počtu výroby lisovacích nástrojů je nutno produktivitu elektroerozivního drátového řezání zefektivnit. Časově náročná je především výroba střížníku, jehož výška je oproti jiným výrobkům (střížné desky, vodící desky, aj.) větší. Diplomová práce je zaměřena na řešení problému produktivity u výroby střížníku na elektroerozivních strojích.

Součástí tématu diplomové práce je kromě návrhu procesu elektroerozivního řezání střížníku i návrh nového materiálu pro střížníky. Nevýhodou stávajícího materiálu na výrobu střížníku 1.2379 je příliš vysoká křehkost a obtížná brousitelnost. Se zvyšujícími požadavky

na výrobu výlisku jsou kladeny i větší nároky na nástroje. Neustálý vývoj v oblasti metalurgie přináší využitelné výsledky a jinak je tomu i u vývoje materiálu pro střižné nástroje. I pro náhradu dnes nejpoužívanější nástrojové oceli na výrobu střižných nástrojů 1.2379 byl vyvinut kvalitnější technologicky vyspělý materiál.

1. Úvod do problematiky elektroerozivního obrábění

Elektrojiskrové (elektroerozivní) obrábění (mezinárodně označované EDM – Electrical Discharge Machining) je formálně řazeno mezi metody nekonvenčního obrábění. Nástroj působí na obráběný materiál bez přítomnosti mechanických sil, které jsou obvyklé pro třískové obrábění, kde je oproti nekonvenčním metodám materiál odebírán v podobě třísek. Dnes již není tato metoda obrábění neobvyklá, protože se široce rozšířila a stala se progresivním výrobním procesem [1].

1.1 Objev elektroerozivního procesu

V roce 1768 se anglický vědec Sir Joseph Priestley (1733 – 1804) zabýval chováním plynů. Zjistil, že při elektrickém výboji v plynu na vodivých plochách (plochy kovů) vzniknou krátery. Jev byl označen jako elektroeroze a dále se zkoumal [1].

O první technologické využití se zasloužili sovětsí vědci, manželé B. R. Lazarenko a N. I. Lararenková. V letech 1938 až 1944 se zabývali výzkumem elektrických výbojů pro obrábění kovů. Vypracovali teoretické základy elektroerozivního procesu a v roce 1943 získali patent [1], [2].



Obr. 1.1 Manželé Lazarenkovi a vedoucí týmu vývoje EDM technologie Jean Pfau (uprostřed) [12]

1.2 Technologie elektroerozivního obrábění

Elektroerozivní obrábění je elektrotepelný proces, při němž dochází k úběru materiálů elektrickými výboji, které vznikají mezi katodou (nejčastěji ji tvoří nástrojová elektroda) a anodou (nejčastěji ji tvoří obrobek) ponořenými v dielektrické kapalině. Základem úběru materiálu je proces elektroeroze. Působením vysoké koncentrace energie materiál taje a odpařuje se [2].

1.2.1 Hlavní zákonitosti elektroeroze

- Elektrické erozi podléhají veškeré elektricky vodivé materiály.
- Jev může probíhat v plynném nebo kapalném prostředí (dielektriku).
- Vhodným zapojením a volbou pracovních parametrů elektrického obvodu lze docílit dvou druhů výbojů:

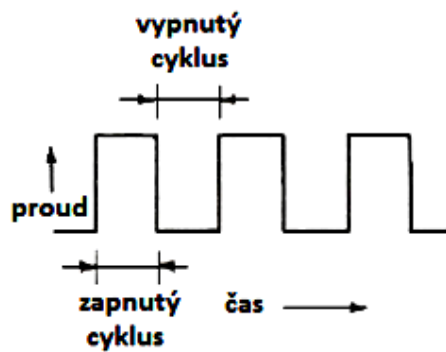
stacionární výboj – *oblouk*,

nestacionární výboj – *jiskra*.

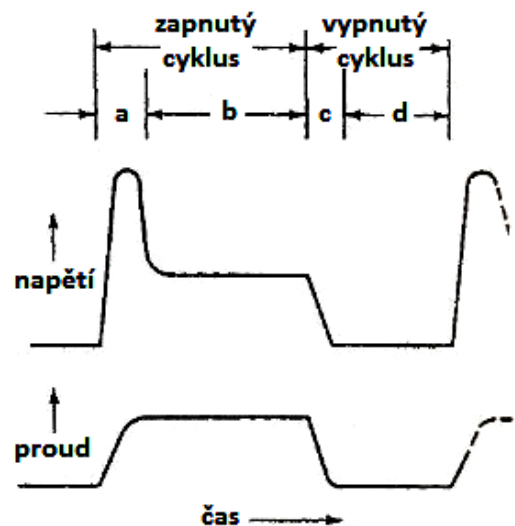
- Vzdálenost elektrod, mezi nimiž probíhá výboj, bývá 5 až 100 μm [2].

1.2.2 Proces vzniku elektrického výboje mezi elektrodami

Do obvodu s odporem R a kapacitou kondenzátoru C je přivedeno jednosměrné napětí, které vytváří v krátkých impulsích výboj mezi katodou a anodou mezi nimiž je určitá mezera. Obr. 1.2 znázorňuje typický průběh impulsů. Ideálním případem je vznik jiskrového výboje při každém impulsu [2].



Obr. 1.2 Typický průběh impulsu při EDM [2]

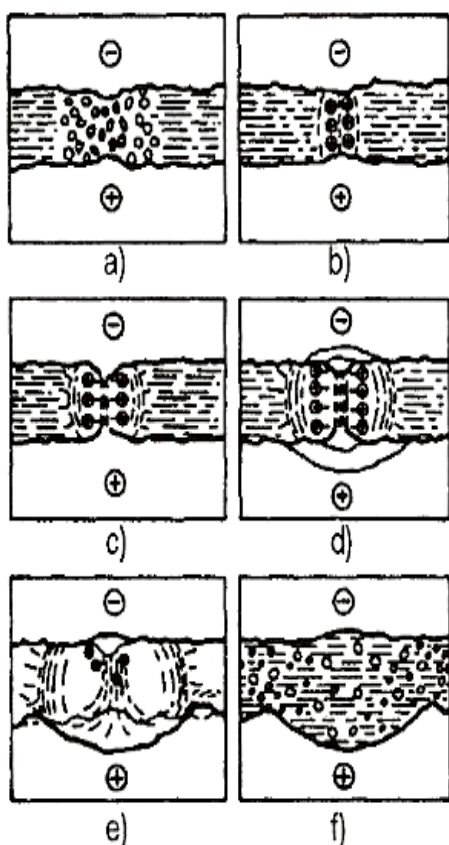


Obr. 1.3 Profil jednoho impulsu při EDM

a – doba ionizace, b – doba výboje, c – doba deionizace, d – zbytkový čas. Úbytek materiálů z elektrody probíhá v době ionizace [2]

V místě nejsilnějšího elektrického napětového pole, které uvádí do pohybu volné záporné a kladné ionty, dochází ke vzniku výboje. Ionty zrychlují, nabývají vysokých rychlostí a vytváří po překonání odporu dielektrika ionizovaný (vodivý) kanál (tzv. výbojový kanál), ve kterém začíná mezi elektrodami protékat elektrický proud a vzniká zde výboj, který dosahuje velmi vysoké teploty [1]. Elektrický oblouk (obvod bez kondenzátoru) dosáhne teploty 3 600 až 4 000°C za 0,1 s až 0,1 ms, jiskrový výboj (obvod s kondenzátorem - RC) 10 000°C za 0,1 ms až 0,01 ms. To způsobuje natavení a dokonce odpaření kovu z anody, ale v menší míře i z katody [2].

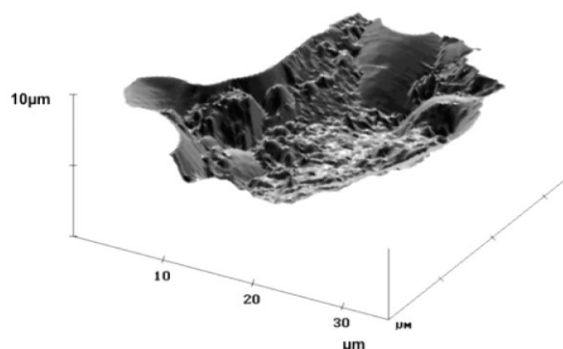
Odpařováním dielektrika současně vzniká plynová bublina. Tlak této bubliny dosahuje vysoké hodnoty. V okamžiku přerušení proudu dojde ke snížení teploty, což vyvolá implozi této bubliny. Do uzavřeného prostoru proniká dielektrikum a velké dynamické síly vymrštují natavený materiál z kráteru, který působením chladícího účinku dielektrika tuhne a je jím odváděn v podobě drobných kuliček [1].



Obr. 1.4 Postupné stádia vzniku výboje při EDM [2]

- a) molekuly a ionty dielektrické kapaliny polarizují
- b) uspořádání kladných a záporných částic v proudu výboje a zvýšení intenzity proudu 10^7 až $10^8 \text{ A} \cdot \text{s}^{-1}$
- c) vytvoření ionizovaného výbojového kanálu, vznik plasmy složené z kladných iontů a volných elektronů, pár kovů obou elektrod a plynů z chemického rozkladu dielektrika
- d) ionty jsou přitahovány k ose kanálu výboje působením silného magnetického pole, vznikají vysoké teploty a dochází k natavování a odpařování částeczek kovů
- e) vlivem tepelného účinku výboje dojde k vymrštění natavených částic kovů z povrchu
- f) v místě výboje vzniká na povrchu anody a katody kráter [2]

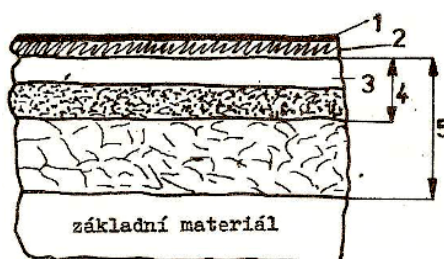
Velikost a tvar kráteru vytvořeného jedním elektrickým výbojem určuje velikost vybíjecí energie. Průměr a hloubka kráteru jsou závislé na hodnotě přivedené energie a na době výboje, což ovlivňuje drsnost opracované plochy, přesnost rozměrů a účinnost procesu [1].



Obr. 1.5 Mikroskopický snímek kráteru vytvořeného jedním elektrickým výbojem [12]

1.2.3 Povrchová vrstva

Energie výboje ovlivňuje kvalitu a stav povrchové vrstvy. Nejlepší kvality povrchu je dosahováno při nižších hodnotách proudu, krátkých impulsech a vysokých frekvencích výbojů [1].



Obr. 1.6 Ovlivněná povrchová vrstva obrobku [1]

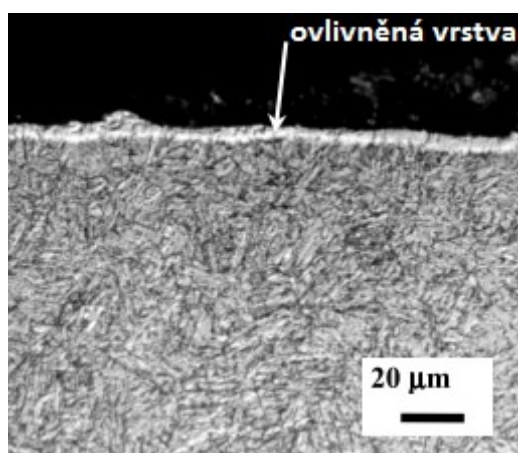
1 – Mikrovrstva nasycená částicemi dielektrika, obsahuje chemické sloučeniny vytvořené difúzí.

2 – Vrstva obsahující materiál nástrojové elektrody.

3 – Znovu ztuhlá tavenina, silně nauhličená vrstva s jemnou strukturou charakteru martenzitu o tvrdosti 60 HRC a tloušťkou od 0,4 mm až do několika desetin milimetru v závislosti na energii impulsů.

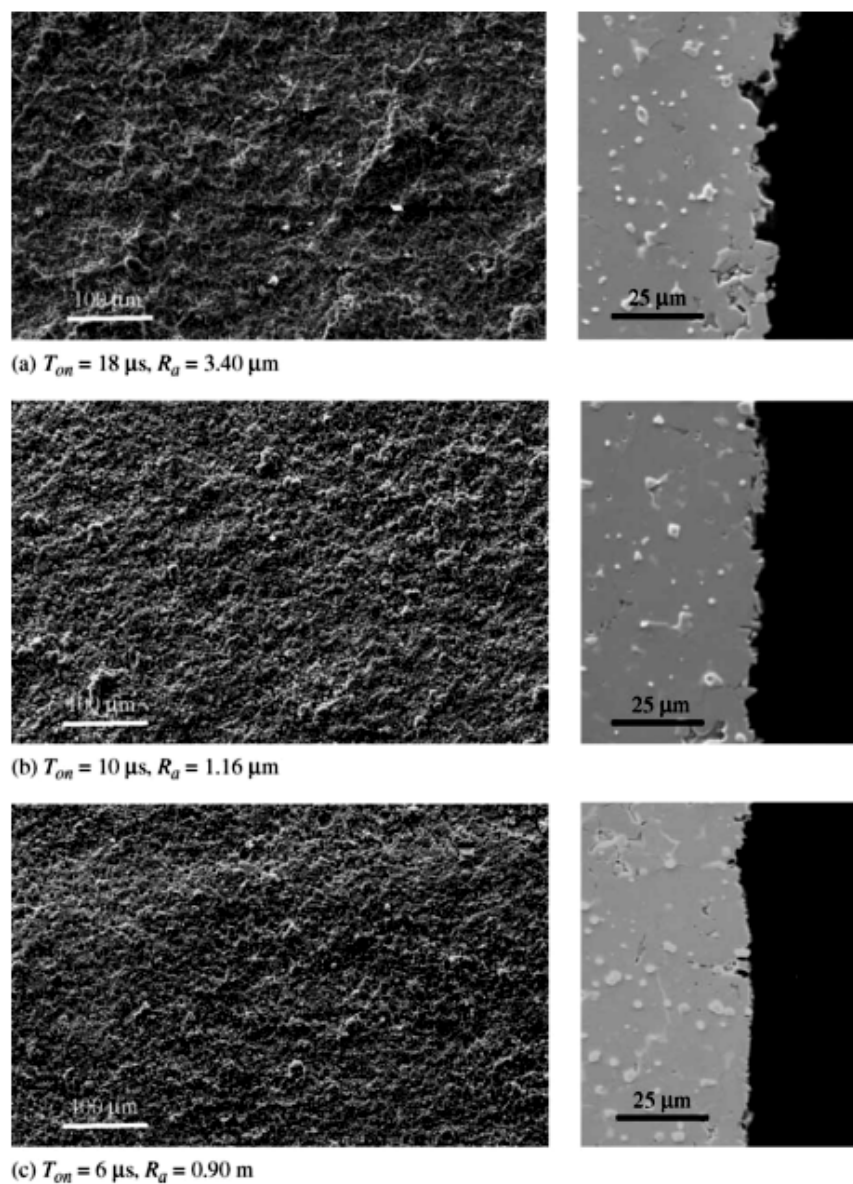
4 – Pásmo termického ovlivnění, vykazuje svou strukturou zakalený a popuštěný výchozí materiál.

5 – Pásmo plastické deformace vzniklé tlakovými rázy impulsů [1].



Obr. 1.7 Ovlivněná vrstva po hrubovacím řezu [10]

Z Obr. 1.8 lze vidět vliv doby trvání výboje na drsnost povrchu u drátového řezání.



Obr. 1.8 Vliv doby trvání výboje na drsnost povrchu [11]

1.2.4 Parametry, které charakterizují proces elektroerozivního obrábění

- Zařízení pro EDM (stroj) – stabilita a tuhost, kapacita průtoku dielektrické kapaliny, řídicí systém a stupeň automatizace.
- Dielektrická kapalina – chemické složení, fyzikální vlastnosti, znečištění, způsob a intenzita proudění, pracovní vzdálenost mezi katodou a anodou.
- Tvoření výboje tj. elektrické podmínky vzniku výboje – výsledný tvar výboje energie impulsu a frekvence výboje.
- Nástrojová elektroda – chemické a fyzikální vlastnosti, tvar a rozměry. Materiály nástrojových elektrod musí být vodivé, přičemž jejich tvrdost může být menší než u opracovávaného materiálu.
- Materiál obrobku – chemické a fyzikální vlastnosti, výsledný tvar a rozměry [2].

1.3 Možnosti využití elektroerozivního obrábění

Elektroerozivní proces se stal v průmyslu využitelným pro elektroerozivní obrábění v několika případech:

- elektroerozivní hloubení dutin,
- **elektroerozivní řezání drátovou elektrodou,**
- elektroerozivní mikroděrování,
- elektroerozivní leštění povrchu,
- elektroerozivní tvorba textu [5].

1.4 Technologie elektroerozivního řezání

Elektrojiskrové drátové řezání (mezinárodně označované zkratkou WEDM – Wire Electrical Discharge Machining, používá se také označení WIRE – EDM – Traveling Wire EDM. Je progresivní metoda elektrojiskrového obrábění, která dodržuje všechny zákonitosti principu elektroeroze [2]



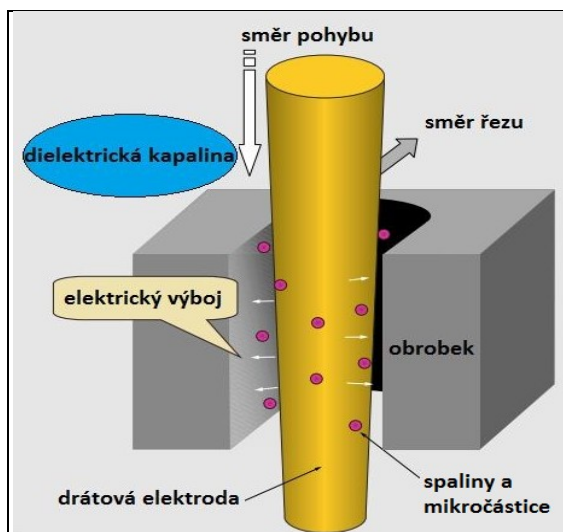
Obr. 1.9 [15]

1.4.1 Hlavní použití technologie

U metody elektrojiskrového řezání je tvořena velmi malá šířka řezu. Metoda je uplatňována především při výrobě střížných a lisovacích nástrojů a při dělení velmi pevných a tvrdých materiálu (např. kalených ocelí, titanových slitin „superslitin“, elektricky vodivých keramických materiálů SiC, Si₃N₄, slinutých karbidů, atd.) [4].

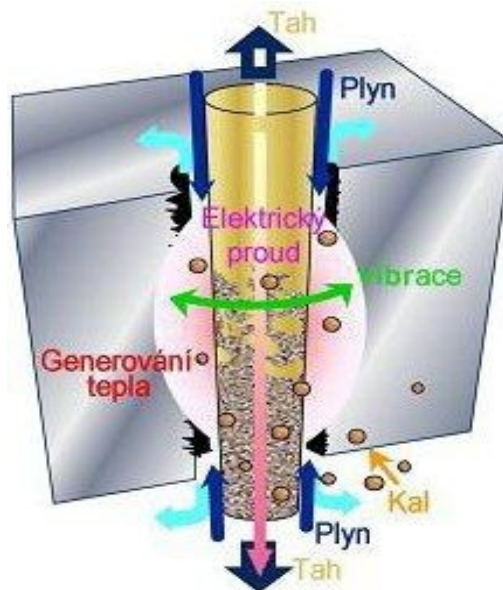
1.4.2 Nástrojová elektroda

Pomocí speciálního zařízení se nástrojová elektroda v podobě tenkého drátu průběžně odvíjí z cívky a přes vodící zařízení prochází místem řezu. V prostoru mezi obrobkem a drátem je dielektrická kapalina [4].



Obr. 1.10 Model elektrojiskrového řezání drátovou elektrodou [5]

Drát je nutné odvíjet z důvodu jeho opotřebovávání a lze jej použít pouze jednou [2]. Přesnost řezu ovlivňuje předpětí, které je zajištěno napínáním konstantní tahovou silou [4].



Obr. 1.11 Napínání konstantní tahovou silou [15]

Dráty o průměru od 0,03 do 0,35 mm se vyrábějí z mědi a jejich slitin, nejčastěji mosazi, pro velmi jemné řezy se vyrábějí dráty molybdenové o průměru od 0,03 do 0,07 mm. V současné době se často používají povlakované dráty u kterých je jádro tvořeno slitinou mědi (např. Cu-Cr, Cu-Zr, Cu-Ag, Cu-Sn, Cu-Sn-In), což umožňuje práci s vysokými reznými rychlostmi, povlak obsahuje vysoké procento zinku a udržuje stabilní výboj a zaručuje vysokou jakost povrchu obrobené plochy [4].

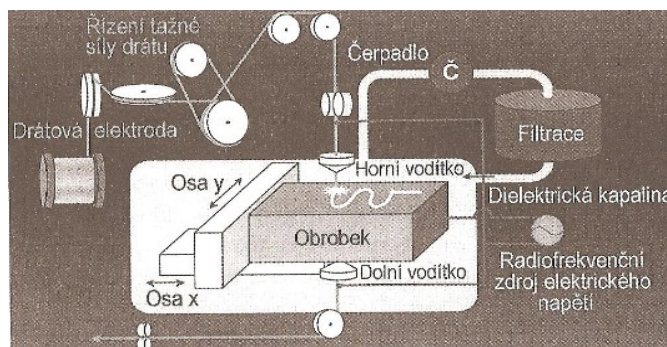
1.4.3 Dielektrická kapalina

Nejčastěji používaným dielektrikem je deionizovaná voda. Dále se používají jiné nízkoviskózní kapaliny a také lehké oleje. Dielektrická kapalina v místě řezu zajišťuje chlazení drátové elektrody a obrobku a odplavování zplodin vznikajících erozí. Je důležité, aby proudění dielektrika do místa řezu bylo plynulé. Nevhodným prouděním dielektrika bývá přetrhnutí drátové elektrody. U přesného obrábění je důležité dodržovat správnou vzdálenost mezi elektrodami, která bývá okolo 0,03 mm [2].

1.4.4 Stavba elektroerozivního řezacího stroje

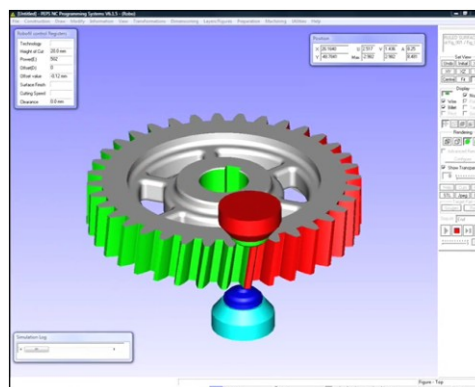
Hlavní skupiny stroje pro elektrojiskrové řezání drátovou elektrodou:

- CNC řídicí systém,
- generátor pulsů,
- systém dodávání a filtrace dielektrika,
- systém podávání a vedení drátové elektrody,
- drátová elektroda,
- upínač obrobku [2].



Obr. 1.12 Princip elektrojiskrového řezání drátovou elektrodou, části skupin stroje [5]

Obrobek je upínán na stůl stroje a může vykonávat pohyb v horizontálním směru nebo se pohybovat nemusí. Pohyb drátu je řízený NC nebo CNC systémem stroje. Vysokoefektivní využití představuje integrace technologie elektrojiskrového drátového řezání do CAD/CAM systému [2]. V současné době jsou drátové řezací stroje kompletně řízeny 64-bitovým řídicím systémem, který zpracovává importovaný NC-program, podle kterého stroj kontinuálně obrábí ve čtyřech osách současně (osy X a Y, a osy U a V vychylující horní hlavu vůči spodní pro úhlové řezání) [16].



Obr. 1.13 Systém PEPS – 4D drátové řezání [16]

2. Analýza stávajícího procesu řezání střížníku

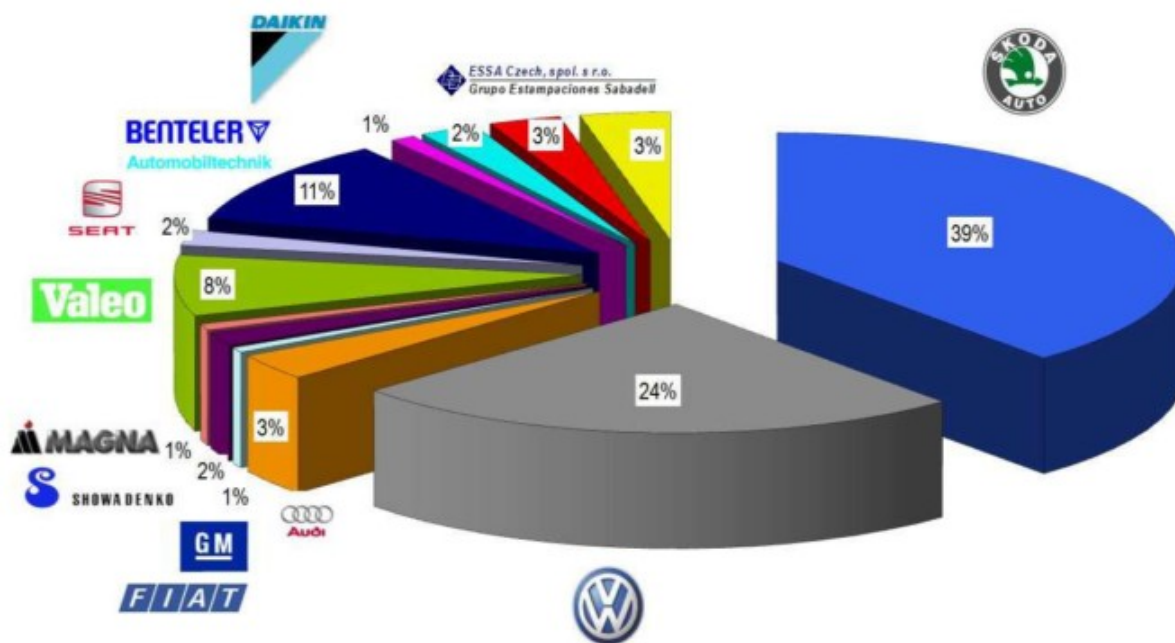
2.1 Charakteristika podniku MASSAG Stamping a.s.

V roce 2004 se společnost MASSAG a.s. rozdělila na tři organizační celky (divize) podle charakteru výroby a prodeje. Divize AUTOMOTIVE se přesunula z Bílovce do nového areálu ve Fulneku. V roce 2008 došlo k rozštěpení MASSAG a.s. a založení nové společnosti MASSAG Stamping a.s. [17].



Obr. 2.1 Logo firmy [17]

Společnost MASSAG Stamping a.s. soustřeďuje své aktivity převážně v automobilovém průmyslu.



Obr. 2.2 Procentuální podíl zákazníků [17]

2.2 Rozbor střížného nástroje

Řeznými částmi střížného nástroje jsou:

- střížník – horní pohybující se nůž,
- střížnice – spodní pevný nůž.

Střížníky a střížnice mají u většiny střížných nástrojů rovná čela, proto dochází ke stříhu po celém střížném obvodu najednou. Za účelem snížení střížných sil se používají šikmé střížníky. Pro přesné stříhání se používá zkosení nebo zaoblení střížného obvodu střížnice nebo střížníku [6].

2.2.1 Konstrukce střížných nástrojů

Části stříhadla:

základní deska, střížnice, doraz, lišty (vedení materiálu), vodící deska (vedení střížníku), střížníky, kotevní deska (držák střížníku), vložka, upínací deska (držák stopky), stopka [20].

Střížníky

Tvar střížníků udává tvar výstřížku. Jsou vyráběny z nástrojových ocelí. Následně se obvykle tepelně zpracovávají a brousí. U střížníku je důležité jejich kolmé upevnění a tuhost. Z důvodu namáhání na vzpěr lze pevnost tenkých střížníků zvýšit osazením jejich krátké části nebo použitím pouzder. Střížník se upíná buď přímo do smykadla lisu nebo na kotevní desku různými způsoby (roznýtováním, osazením, nákrůžky, šrouby a kolíky, zaléváním snadno tavitelnými slitinami) [20].

Střížnice

Je činnou částí nástroje. Upínají se přímo nebo nepřímo na základové desce. Podle velikosti, tvaru a technologie výroby jsou vyráběny jako celistvé z jednoho kusu nebo skládané [6].

Vodítko

Při malých nárocích na přesnost je vedení zajišťováno pouze beranem lisu. Vedení zvyšuje přesnost, trvanlivost nástroje a usnadňuje seřízení na lisu. Používají se dva typy vedení - vedení vodící deskou a vodícími sloupky [20].

Vedení materiálu v nástroji

Vedení pásu v pracovním prostoru nástroje zajišťují vodící lišty. Materiál je posouván ručně nebo automatickým podávacím zařízením. Použitím jedné vodící lišty k ní obsluha vedený materiál přitlačuje. Dvě lišty mohou být pevné nebo jedna z nich odpružená. Přitlačování se provádí palci nebo pružícími rámečky [20].

Dorazy a hledáčky

Doraz zajišťuje posuv materiálu o rozteč (krok). Během zdvihu beranu se materiál posune a můstek odpadu se opře o doraz, který zapadne do vystřihnutého otvoru. Dorazy bývají různě řešeny. Hledáčky se používají především u postupových nástrojů a v případech, kdy se vyžaduje upravení polohy pásu. Otvor pro hledáček je vystřižen v dřívějším postupu [20].

Základová deska

Slouží k upevnění nástroje na stole lisu a k zakotvení vedení. Základová deska má oproti střižnici zvětšeny otvory pro propad výlisku nebo odpadu a bývá opatřena skluzy pro jejich transport [6].

Upínací deska

Mimo nástroj zajišťuje spojení a upevnění nástroje na beran lisu. V nástroji slouží k podepření střižníků a spojení s kotevní deskou a vložkou a upevnění vedení. U výstředníkových lisů je upínací deska opatřena stopkou. Pro ostatní typy lisu bývají upínací desky upnuty k beranu lisu pomocí upínek [6].

Kotevní deka

Slouží k zakotvení střižníků a ohybníků. Podle konců střižníků a ohybníků má pro upevnění a zachycení stíracích sil válcová nebo kuželová zhloubení [6].

2.2.2 Rozdělení nástrojů pro stříhání

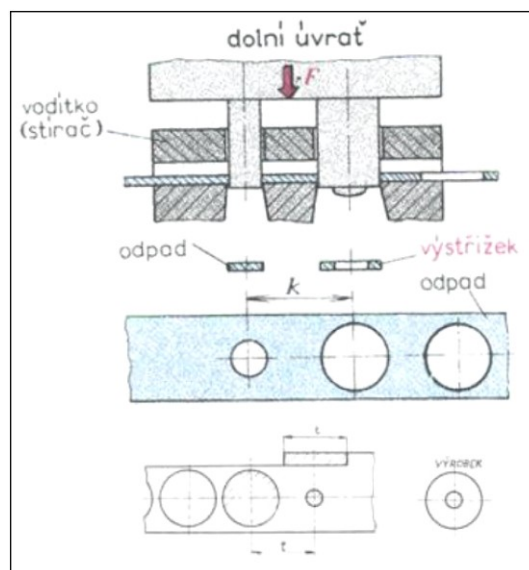
Nástroje se dělí podle způsobu práce na:

Jednoduché

Jsou určené pro jednu operaci. Polohu pásu zajišťuje pevný doraz a posuv je dán hodnotou kroku (velikost výrobku plus přídavek) [18].

Postupové

Výstřížek je zhotoven postupně, na několik operací a kroků. Při vložení nového pásu se použije načínací doraz, polohu pásu zajišťuje pevný koncový doraz. Na Obr. 2.3 je znázorněno, jakým způsobem nástroj funguje. Posuv pásu je zprava doleva. Všechny tři vyšrafované plochy jsou vystříženy na jeden zdvih. Obdélníková plocha zajišťuje posuv pásu o rozteč t (míra kroku), je odstřížena stranovým střížníkem. Kruhové plochy jsou různé výstřížky. Pravý (malý) kruhový výstřížek padá do odpadu, levý je hotovým výrobkem – podložka [18].



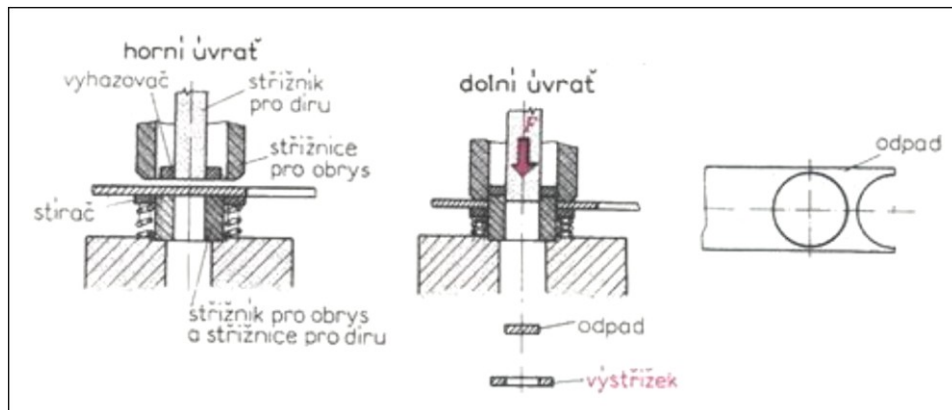
Obr. 2.3 Postupové stříhadlo [18]

Sdružené

Vykonává několik pracovních úkonů na jeden krok (např. stříhání, ohýbání a tažení) [18].

Sloučené

Vykonává několik operací na jeden krok (např. děrování a vystřihování) [18].



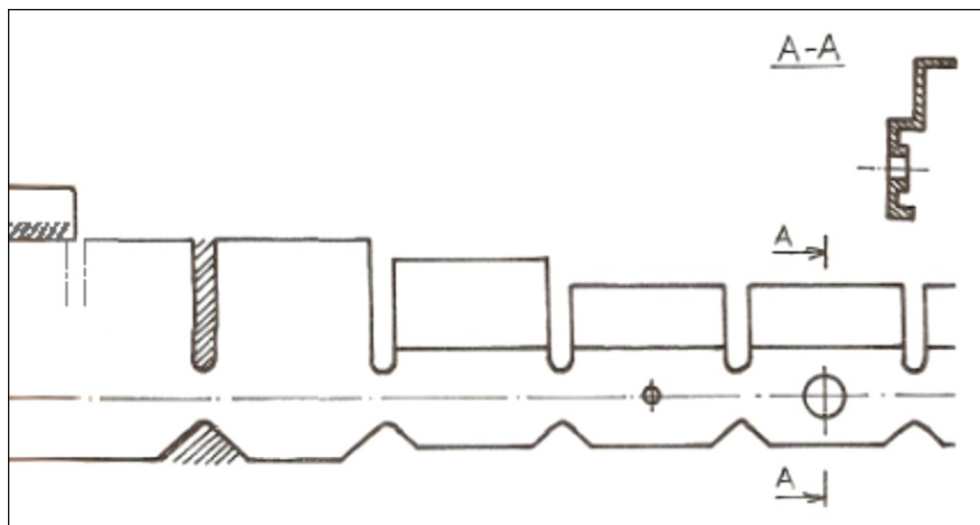
Obr. 2.4 Sloučené stříhadlo [18]

Sdružené postupové

Vykonává několik sdružených pracovních úkonů na více kroků [18].

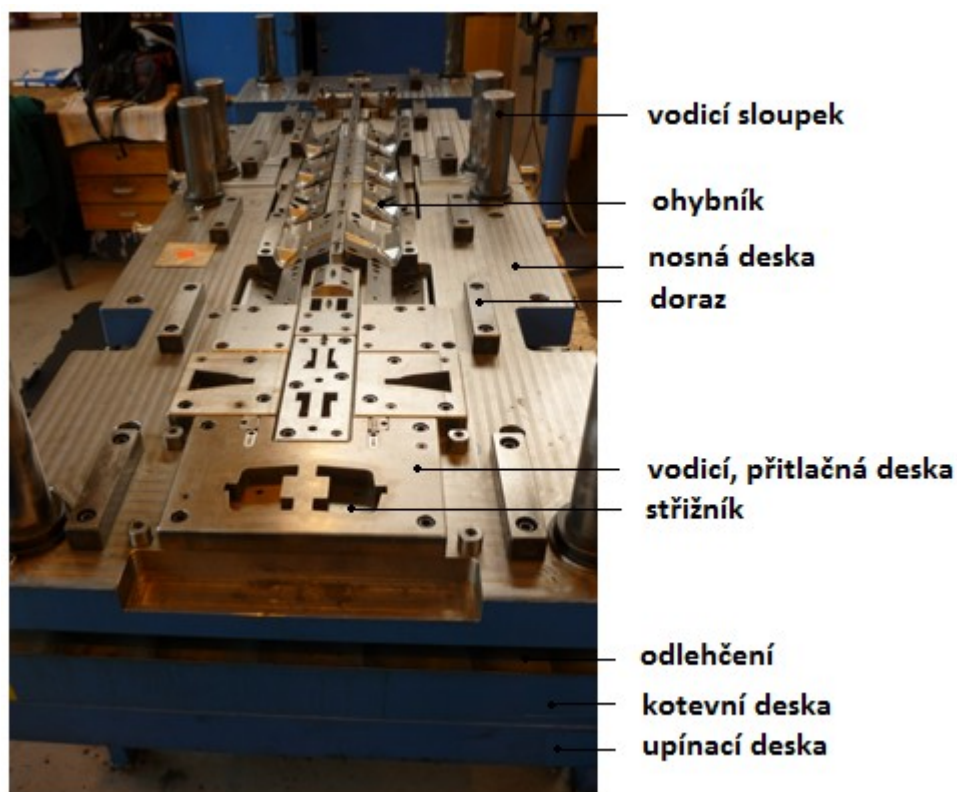
2.2.3 Konstrukce nástrojů u vybraného představitele

V podniku Massag Stamping a.s. se ve vlastním konstrukčním oddělení vytváří dokumentace, podle které jsou nástroje vyráběny. Nástrojárna slouží jako obslužný provoz pro lisovnu, vyrábějící hliníkové a ocelové díly převážně pro automobilový průmysl. K výrobě takovýchto dílů se obvykle používají **sdružené postupové střížné nástroje**.

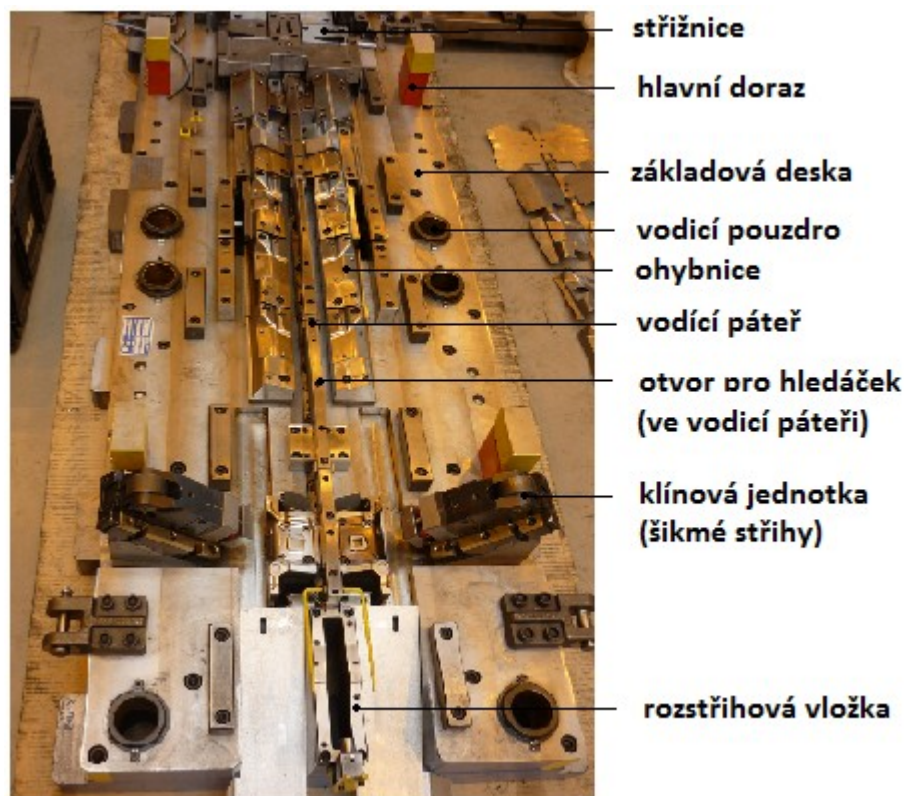


Obr. 2.5 Výrobek zhotovený postupovým sdruženým nástrojem pro stříhání, děrování a ohýbání [6]

Na Obr. 2.6 a Obr. 2.7 je postupový sdružený střižný nástroj ve firmě MASSAG Stamping a.s.



Obr. 2.6 Horní část střižného nástroje



Obr. 2.7 Spodní část střižného nástroje

2.3 Strojní vybavení pracoviště elektroerozivního řezání

Firma MASSAG Stamping a.s. pořídila v letech 2000 až 2003 postupně tři stroje pro elektroerozivní drátové řezání a to dva typy HITACHI 254Y a jeden typ HITACHI 355Y.



Obr. 2.8 Elektroerozivní drátová řezačka HITACHI 355Y

Tab. 2.1 Technické data

POLOŽKA	JEDNOTKA	355Y	254Y
Max. velikost obrobku	mm	700 x 500 x 300	600 x x400 x 210
Max. hmotnost obrobku	kg	1000 (800)	400
Pojezdy os X - Y - Z	mm	500 x 350 x 300	400 x 250 x 210
Pojezdy os U - V	mm	±100 (200x200)	±100 (200x200)
Max. úkos	°/mm	12 / 210	12 / 210
		30 / 140	30 / 140
		45 / 70	45 / 70
Rychloposuv	mm·min ⁻¹	1500	
Strojní posuv	mm·min ⁻¹	0,01 - 26	
Manuální posuv		Rychlý, vysoký, střední, pomalý / Krok: 0.001; 0,01; 0,1; 1 mm	
Napnutí drátu	N	2 - 28	
Cívky drátu	kg	DIN 200, P 15	
Interpolace os	mm	0,0001	
Zobrazené rozlišení	mm	0,001	
Průměr řezacího drátu	mm	0,25 standard (0,1 - 0,2 - 0,3 na přání)	
Vodítka řezacího drátu	-	Uzavřená kruhová vodítka (V-flat- na přání)	
Výplach	-	Řezání pod vodní hladinou a koaxiální výplach	
Rozměry stroje š x h x v	mm	2950 x 2200 x 2250	2420 x 2190 x 1975
Hmotnost stroje	kg	4200	2700
Objem nádrže	l	1200	470
Filtrační systém	-	2 ks papírové patrony	
Chladicí zařízení	-	diferenciální	
Vodivost vody	μs·cm ⁻¹	5 - 150	
Deionizace	l	10	5
Instalační plocha	m	4000 x 2300	3500 x 2300

Vybavení strojů

- Automatické navlékání drátu
- Řízená Z-osa
- Programovatelné tlaky výplachu
- Upínací stůl
- X2 generátor se zvýšeným výkonem
- Střídavý generátor s digitální zpětnou vazbou
- CNC řídicí systém HITACHI MARK 10W v češtině s technologickou podporou AutoTechCut
- 5 řízených os (4 současně)
- 15" barevná grafická obrazovka
- Programování a simulace na pozadí během řezání
- Pevný disk 1 GB (volná kapacita pro programy cca 80 MB), MS-DOS komp. 3,5" disketa
- Ochranný obvod omezující trhání řezacího drátu
- Možnost bezodpadového řezání
- Náповědné a informativní funkce
- Filtrační a deionizační zařízení
- Chladicí zařízení s termostatem
- Přívodní transformátor

2.3.1 Řezací drát

PentaCut - T je nejpoužívanější mosazný drát. Tento drát vyniká vysokou přímostí při odvíjení (bez tvarové paměti). Je vhodný pro bezobslužný provoz s využitím automatického navlékání drátu. Větším napnutím drátu se zvyšuje přesnost ve velkých výškách řezů [19].

Chemické složení Cu60Zn40

Pevnost: 1000 N/mm²

Průměr: 0,25 mm

Délka: 16 174 m

Váha cívky: 7 kg



Obr. 2.9 Řezací drát PentaCut - T

2.3.2 Programování

Výkresová dokumentace ve formátu dwg. je importována do CAD/CAM systému PEPS, který má firma ve zkušební době. Pro stroj je k dispozici postprocesor, který převádí data z CAD/CAM systému do datového jazyka stroje a jejich přenos je realizován pomocí diskety 3,5“.

2.3.3 Dielektrická kapalina

Obrobek je ponořen v dielektriku, které je do místa řezu přiváděno pod tlakem, což zde zajišťuje ochlazování a výplach nečistot. Dielektrickou kapalinou je voda, která se upravuje na deionizovanou pomocí cirkulace přes pryskyřici, tím si udržuje provozní hodnotu vodivosti (sníženou) Obr. 2.10. Vodivost je důležitým parametrem v procesu elektroerozivního řezání. Čištění zajišťuje filtrační zařízení Obr. 2.11 a požadovanou teplotu udržuje chladicí zařízení s termostatem.



Obr. 2.10 Cirkulace dielektrické kapaliny přes pryskyřici

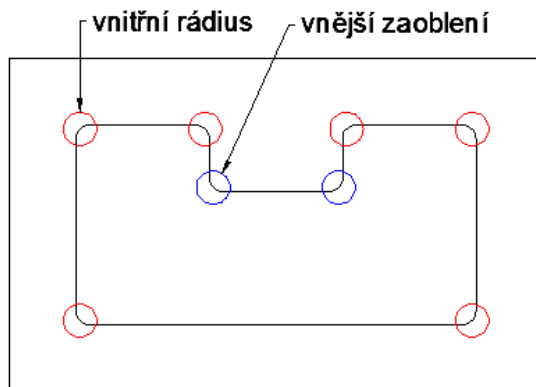


Obr. 2.11 Filtrace Dielektrické kapaliny

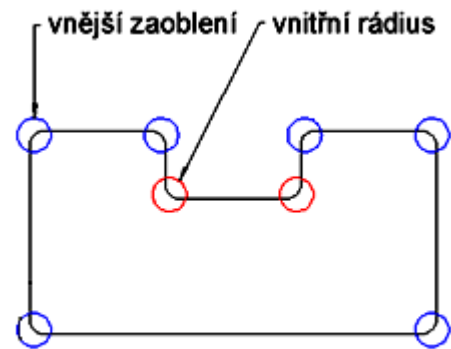
2.4 Zásady pro řezání komponentu střížného nástroje

Rádusy

Metodou WEDM vzniká ve vnitřních rozích po drátové elektrodě vždy rádius. Jeho velikost je velmi malá a přibližně odpovídá polovině průměru drátu. Při konstrukci nástroje se na protikusu navrhuje vnější zaoblení.



Obr. 2.12 Střížnice



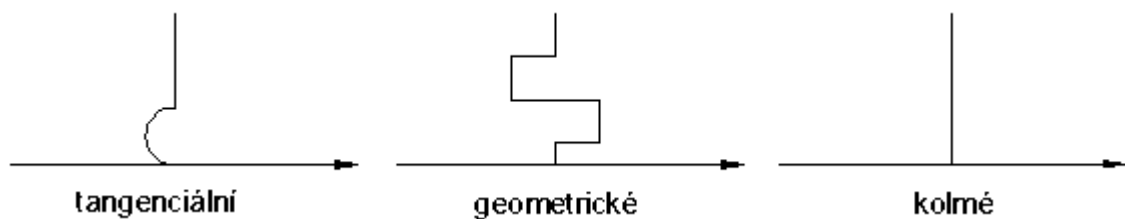
Obr. 2.13 Střížník

Způsoby najetí na konturu

Pro najetí se používá několik strategií:

- tangenciální – v místě najetí nevzniká rýha,
- geometrické – zabráňuje vyplachovacím ztrátám,
- kolmé – používané u hrubovacích cyklů.

Stejně způsoby se používají také pro vyjíždění od kontury.



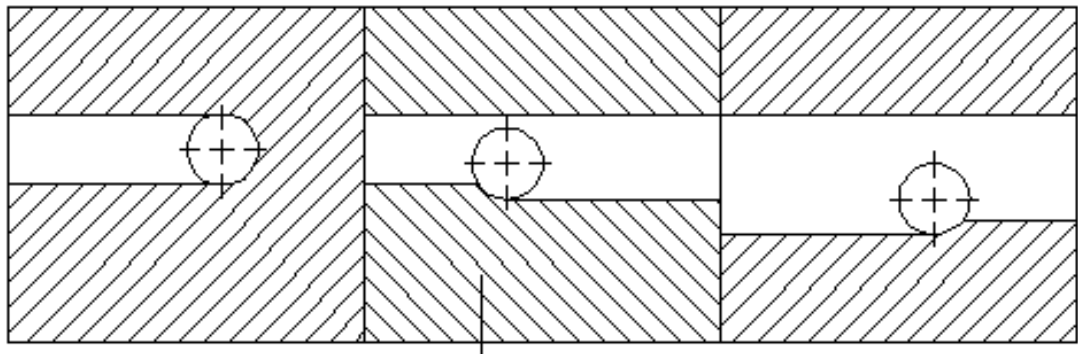
Obr. 2.14 Způsoby najetí na konturu

Etapy řezu

Hrubovací řez – prochází plným materiálem a vytváří hrubý obrys obrobku. Na obrobku je nechán přírůstek na dokončování. Pro hrubování se nastavují parametry pro velký úběr materiálu.

Dokončovací řez – následuje po řezu hrubovacím a odebírá ponechaný přídavek na dokončení. Dokončovací řez je charakterizován vyšší frekvencí výbojů a kratší dobou trvání výboje.

Není-li požadováno vysoké přesnosti a drsnosti obrobené plochy je možno součást vyrobit pouze jedním hlavním řezem.



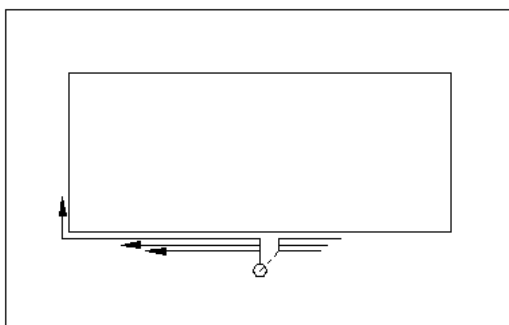
Obr. 2.15 Etapy řezu – první řez hrubovací a následné dva řezy hladící

Směry řezání

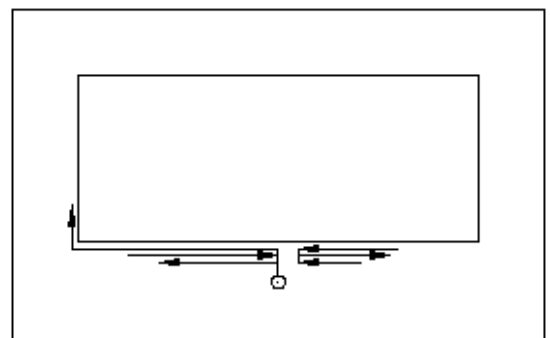
V případě obrábění minimálně dvěma řezy se určuje podle směru jednotlivých řezů strategie.

Jednosměrný řez – Po hrubovacím řezu dojde k přerušení drátu a následný dokončovací řez i všechny následující dokončovací řezy vychází opět ze startovacího otvoru. Řezy jsou tedy prováděny všechny v jednom směru.

Zpětný řez – Hrubovací řez začíná ze startovacího otvoru a končí u přidržovacího můstku, kde se drát posune o velikost přídavku určeného k danému dokončovacímu řezu a pokračuje v opačném směru. Tímto způsobem se provedou i všechny následující řezy. Výhodou této strategie je, že nedochází k přerušení drátu.



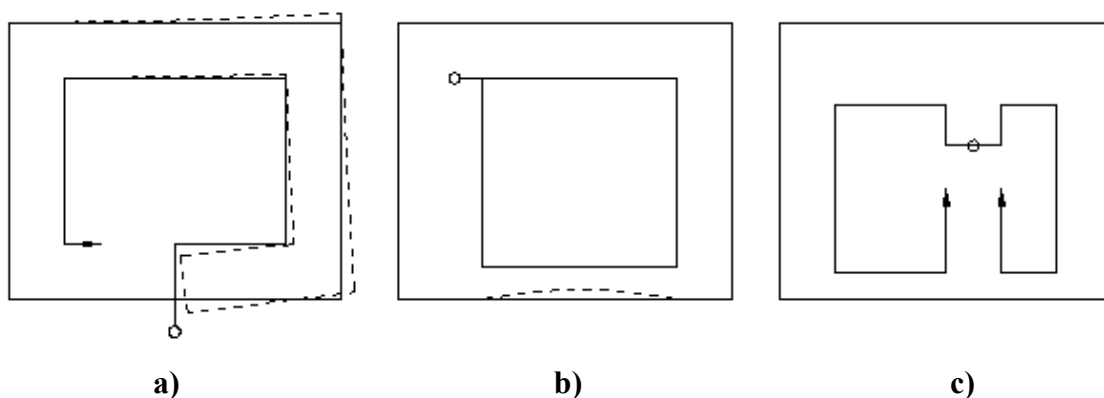
Obr. 2.16 Jednosměrný řez



Obr. 2.17 Zpětný řez

Řezání střížníku

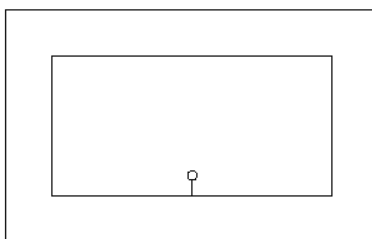
Řezání střížníku začíná ze startovacího otvoru. Startovací otvor bývá vytvořen klasickým vrtáním a opatřen sraženou hranou pro snadnější navlékání drátu. U tvrdých materiálu jako jsou slinuté karbidy, legované oceli aj. se k výrově startovacího otvoru používá elektroerozivní hloubicí stroj. U kalených součástí se startovací otvory vrtají před kalením. Najetím na vnější okraj polotovaru by došlo k jeho deformaci (Obr. 2.18/a). K deformaci může dojít i nedostatečnou volbou okraje (Obr. 2.18/b) nebo nevhodnou volbou startovacích otvoru (Obr. 2.18/c). Po všech řezech se vypadávající součást (střížník) zajistí k upnuté části polotovaru (odpadu) a provede se odřezání přidržovacích můstku. Zajišťování se provádí magnetem, tmelem, pryskyřicí nebo svorkami. U spojení magnetem a svorkou je nutno dbát zvýšené opatrnosti, aby nedošlo ke kolizi. Zajištění tmelem a pryskyřicí vyžaduje spojení vypadávající a upnuté části pomocí plíšku z důvodu vodivosti.



Obr. 2.18 Případy řezání střížníku ve kterých dochází k deformaci

Řezání střížnice

Stejně jako u řezání střížníku začíná proces řezání ze startovacího otvoru. Oproti řezání střížníku je otvor umístěn uvnitř vypadávající části. Pokud to situace nevyžaduje jinak je otvor svislý. Je-li otvor zhotoven pod úhlem, čehož se využívá u kuželových řezů, není možné automatické navlékání drátu a musí zasáhnout obsluha stroje. Nedostatečnou volbou okraje může dojít ke stejné deformaci jako u střížníku (Obr. 2.18/b).



Obr. 2.19 Umístění otvoru při řezání střížnice

U řezání střížnic je na výběr strategie řezu. Strategie určuje navazování jednotlivých řezů a volí se před spuštěním procesu elektroerozivního řezání. Volba strategie může být určena podle doby zásahu obsluhy. Dva základní typy strategie řezu:

BRZY – u této strategie obsluha zasahuje co nejdříve a poté následuje nejdelší část řezání bez zásahu obsluhy stroje. Po vyhrubování obsluha zajistí vypadávanou část a provede se odřezání přídržovacích můstku. Vypadávaná část odstraní a následují všechny dokončovací řezy.

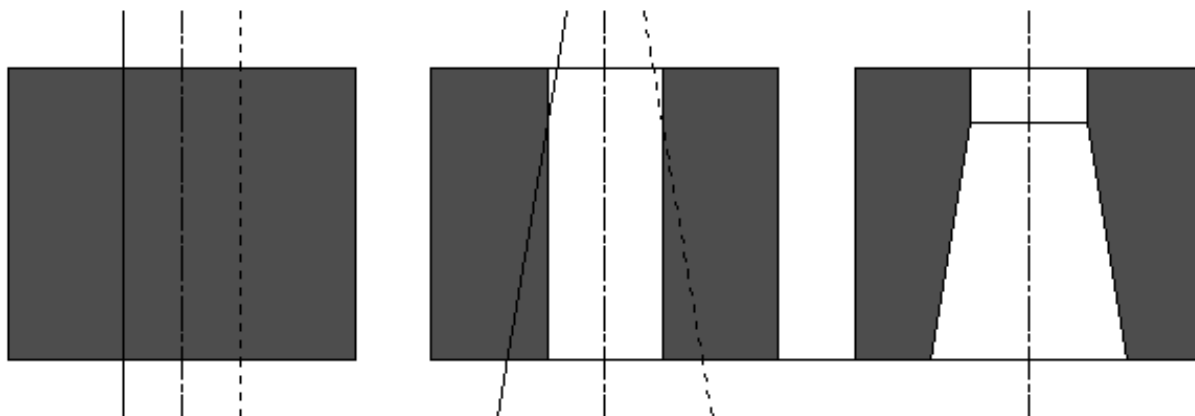
POZDĚ – nejdelší část řezání bez zásahu obsluhy je na začátku procesu. Obsluha zasahuje co nejpozději. Všechny řezy (hrubovací i hladicí) jsou provedeny po přídržovací můstek. Obsluha zajistí vypadávanou část a provede se hlavní i dokončovací řez přídržovacího můstku.

Střížnice se řezou třemi způsoby podle jejich druhu a tvaru:

Standardní střížnice – Vyřezaný obvod je tvořený jednou spojitou plochou. Vypadávaná část se zajistí a poté se odřezou přídržovací můstky.

Malé střížnice – Z důvodu obtížného nebo nemožného zajištění vypadávané části se dutina kompletně vyřeže hrubovacím cyklem.

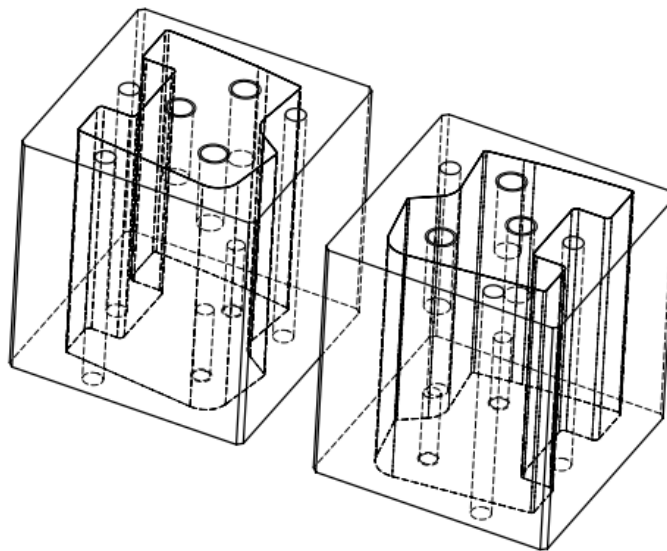
Složená střížnice – Je složena z několika ploch.



Obr. 2.20 Řezání složené střížnice

2.5 Ukázkový příklad vyráběné součásti

Jako ukázkový příklad k řešení problematiky byl použit již vyrobený střížník. Na (Obr. 2.21) je model střížníku vyrobeného stávající technologií drátového řezání. V následující kapitole je pro tento střížník navrženo nové konstrukční a technologické řešení z důvodu problematiky řezání.



Obr. 2.21 Vyráběná součást - střížník

Stříhaný materiál:

označení: S355MC

tloušťka: 0,8 mm

Na Obr. 2.22 lze vidět postupné zhotovení výlisku vytvořeného v postupovém střížném nástroji. Detail v obrázku označuje stříhaný tvar výše uvedeným střížníkem.



Obr. 2.22 Postupné zhotovení výlisku

2.5.1 Materiál střížníku

Zvolený příklad střížníku je vyroben z oceli SVERKER 21. Tento materiál firma používá k výrobě střížníku i střížnic, které jsou určeny k stříhání tvrdších materiálu.

SVERKER 21

Charakteristika

Je molybdenem a vanadem legovaná nástrojová ocel s vysokým obsahem uhlíku a chromu, pro kterou jsou charakteristické tyto vlastnosti:

- vysoká odolnost proti opotřebení,
- vysoká pevnost v tlaku,
- dobrá prokalitelnost,
- vysoká rozměrová stálost při kalení,
- dobrá odolnost proti popouštění [21].

Chemické složení

Tab. 2.2 Chemické složení oceli SVERKER 21 [21]


Chemické složení [hm. %]	C 1,55	Si 0,3	Mn 0,4	Cr 11,8	Mo 0,8	V 0,8
Označení dle normy	(AISI D2/W.-Nr. 1.2379)					

Použití

Doporučená ocel pro nástroje, od kterých se požaduje velmi vysoká odolnost proti opotřebení ve spojení s dostatečnou houževnatostí. Tato ocel se používá i ke stříhání tlustších a tvrdších materiálů a na nástroje, které jsou vystaveny značnému namáhání [21].

2.5.2 Technologický postup

Tab. 2.3 Technologický postup stávající výroby

Číslo objednávky:			Technologický postup	Auto	
2NC100158				Klasika	
				Clares	
Číslo operace	Pracoviště	Popis práce		Podpis pracovníka	
1.	525	100,4 x 100,4 x 105,6 hrubování			
2.	561	100,2 x 100,2 x 105,4 úhlování			
3.	MCV 750	Dle programu – otvory,			
4.	823	Dle výkresu – závity, kontrola hrany, označit			
5.	622	60 HRC – tepelná úprava - kalení			
6.	561	100 x 100 x 105 broušení po kalení			
7	EIR	Dle dat			
8	561	Brousit můstky			
9	823	Dokončit			
Datum: 15.11.2010		Materiál: 1.2379	Počet kusů:1 + 1	Termín:	
Navrhl: Dobeš		Poznámka: 12 332/333 00 – střížníky položky 123 + 124			

2.5.3 Proces elektroerozivního řezání

Řezání střížníku bylo prováděno metodou tří řezu (Obr. 2.15). První řez je hrubovací, prochází plným materiálem a vytváří hrubý obrys obrobku. U hrubovacího řezu je na vnitřní části nechán přídavek na dokončení o velikosti 0,1 mm. Hrubovací řez je charakterizován vysokými řeznými parametry pro velký úběr a rychlý řez. Druhý a třetí řez je hladicí, odebírá přídavek a upravuje geometrické nepřesnosti tvaru. Hladicí řez je charakterizován vyšší frekvencí výboje a nižším časem doby výboje. Proces řezání začíná od vyvrtaného startovacího otvoru, který je umístěn v polotovaru mimo oblast budoucího tvaru střížníku, avšak v jeho blízkosti. Startovací otvory jsou opatřeny sraženou hranou pro snadnější automatické navlékání drátu. Způsob najetí na konturu je kolmý stejně jako výjezd od kontury. Vnější najetí by způsobovalo rozevírání. Z důvodu snazšího broušení přidržovacích můstků se najíždí a také vyjíždí na rovinnou plochu střížníku. Strategie je taková (Obr. 2.17), že hlavní řez je veden po přidržovací můstek. V tomto místě se drát posune o přídavek 0,05 mm určený k danému hladicímu řezu a proces řezání pokračuje v opačném směru než řez předchozí. Stejný postup je u následného hladicího řezu. Po vyřezání obvodu se vypadávaná část - střížník zajistí magnetem. Poslední fází je odřezání přidržovacích můstků. Zabroušení můstku se provádí na rovinné brusce.

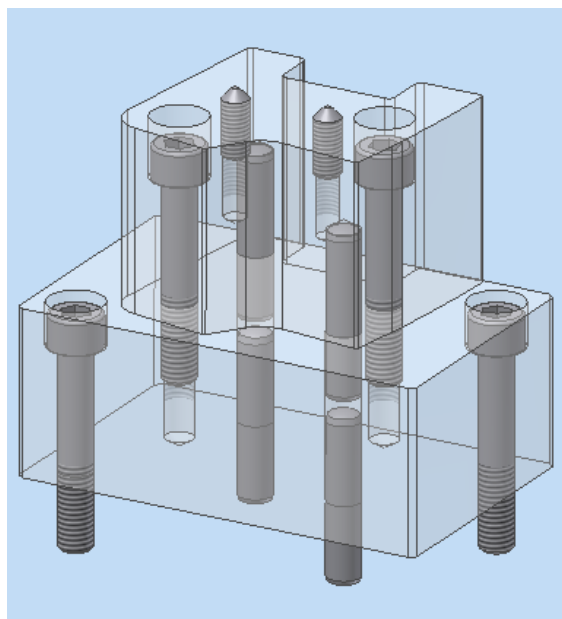
3. Návrh procesu elektroerozivního řezání včetně materiálu střížníku

Cílem návrhu je zproduktivnit výrobu na elektroerozivních drátových strojích a doporučit nový materiál pro střížníky. Proces elektroerozivního řezání je obvykle nejdražší operací při výrobě střížných nástrojů. Stárnutí strojů je důvodem k upravování řezných parametru a snižování rychlosti řezání, což způsobuje postupné zvyšování přímých nákladů na výrobní proces nástroje a klesající produktivitou stroje. V tomto případě je zvýšení produktivity na elektroerozivních drátových strojích možné řešit změnou konstrukce a technologie výroby některých střížníku nebo investici do nového strojního vybavení.

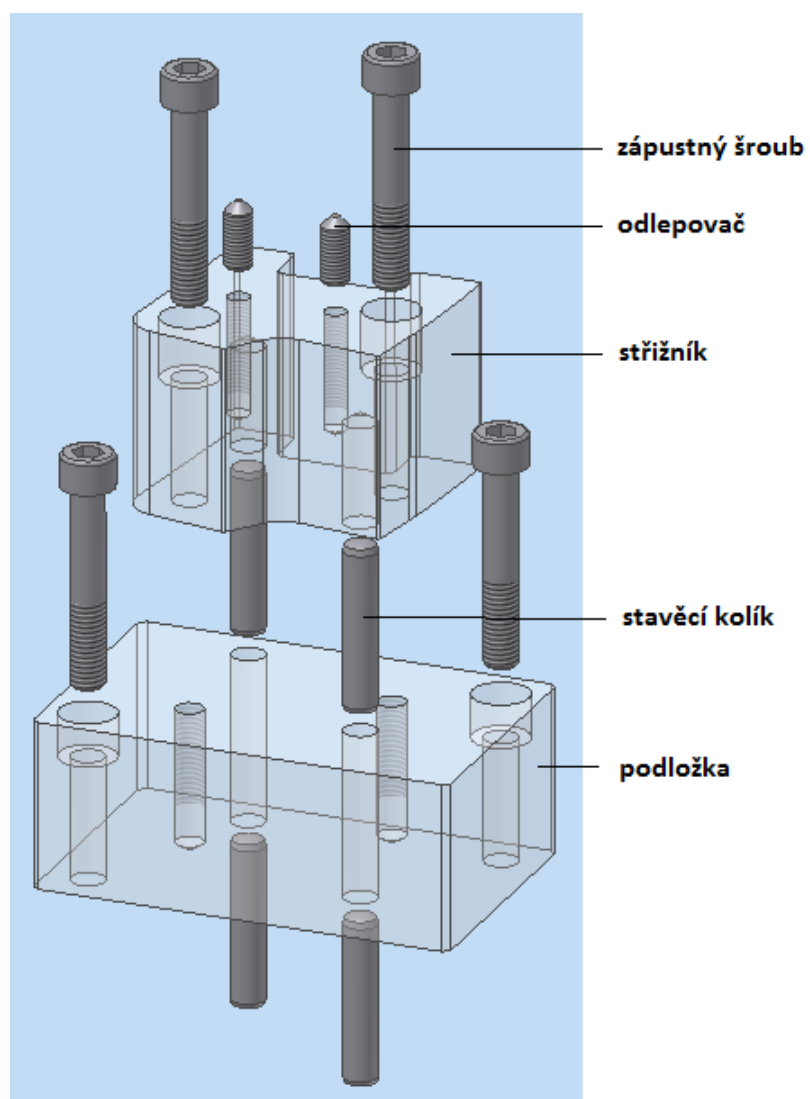
Ukázkový příklad vyráběné součásti (Obr. 2.21) byl vyroben stávající technologií. Na součásti je ukázáno porovnání stávajícího a navrženého procesu elektroerozivního řezání. K tomuto střížníku byla poskytnuta výkresová dokumentace (příloha A), foto střížného nástroje (a Obr. 2.7) a výlisku (Obr. 2.22). Součásti návrhu konstrukce a technologie výroby pro zvolený příklad střížníku je i výkres střížníku (příloha B) a výkres podložky (příloha C). Jiný střížník vyrobený podle navrhované konstrukční úpravy a technologie výroby je na Obr. 3.3.

3.1 Návrh konstrukce a technologie výroby pro zvolený příklad střížníku

Nástroje se vyrábí podle dokumentace, která je vytvořena ve vlastním konstrukčním oddělení. Podstatná většina střížníku je vyráběná ve výšce 100 mm tedy třemi řezy. Při řezání takovéto výšky se stárí stroje značně projevuje. Nabízí se řešení snížení výšky funkční části střížníku. Snížením výšky na 50 mm se umožní nastavit proces řezání na dva řezy, tím se doba řezání výrazně zkrátí. Při takovém návrhu je nutné změnit konstrukci střížníku a vyrábět je ze dvou dílů (Obr. 3.1, Obr. 3.2), funkční část z nástrojové oceli (TENASTEEL viz kapitola 3.1.2) a kotvenou část (podložku) z oceli 11 523. Podložkou se kompenzuje původní výška střížníku, která musí zůstat z konstrukčních důvodů celého nástroje zachována. Oba díly se spojí pomocí šroubů s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem ČSN EN ISO 4762 (02 1143), přičemž vystředění zajistí stavěcí kolík. Změnu konstrukce je možno použít pouze pro rozměrově větší střížníky.

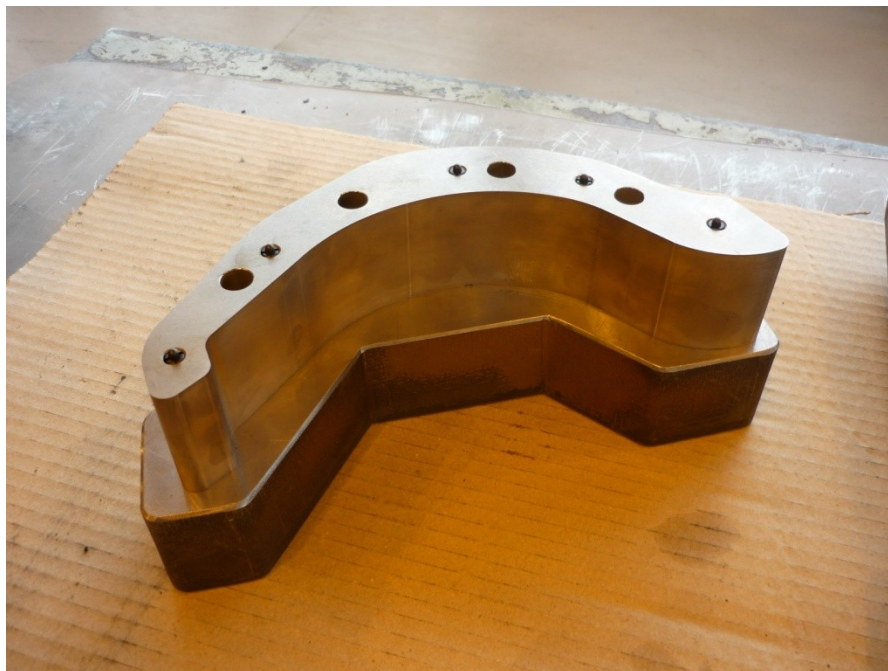


Obr. 3.1 Model složeného střižníku



Obr. 3.2 Model rozloženého děleného střižníku


Na Obr. 3.3 je dělený střížník, který byl vyrobený po zavedení konstrukční úpravy a nové technologie výroby.



Obr. 3.3 Střížník vyrobený jako dělený

3.1.1 Technologický postup

Tab. 3.1 Technologický postup navrhované výroby

Číslo objednávky:			Technologický postup	Auto	
2NC100158				Klasika	
				Clares	
Číslo operace	Pracoviště	Popis práce		Podpis pracovníka	
1.	525	100,4 x 100,4 x 55,6 hrubování			
2.	561	100,2 x 100,2 x 55,4 úhlování			
3.	MCV 750	Dle programu - otvory pro EIR			
4.	823	Dle výkresu - závity, kontrola hrany - označit			
5.	622	60 HRC – tepelná úprava - kalení			
6.	561	100 x 100 x 55 broušení po kalení			
7.	EIR	Dle dat			
8.	561	Brousit můstky			
9.	823	Dokončit			
Datum: 15.2.2011		Materiál: TENASTEEL	P. kusů: 1 + 1	Termín:	
Navrhl: Klein		Poznámka: 12 332/333 00 – střížníky položky 123 + 124			

3.1.2 Materiál střížníku

TENASTEEL

Tato ocel byla zvláště vyvinuta jako náhrada oceli typu 1.2379, která se široce využívají při výrobě nástrojů, avšak jejich nevýhodou je příliš vysoká křehkost a velmi obtížná brousitelnost [23].

Charakteristika

Materiál Tenasteel je technologicky vyspělý materiál určený pro náročné aplikace tváření kovů za studena. Inovační technologií výroby byla dosažena vysoká čistota makrostruktury materiálu, který tvoří s precipitáty Titanu optimální matici pro povlakované nástroje. Snížením obsahu Chromu proti oceli 1.2379 byla zlepšena obrobitelnost materiálu. Celkově Tenasteel vyniká proti oceli 1.2379 vyšší pevností v tlaku, účinněji odolává abrazi vnějšího prostředí a s vyšší teplotou popuštění je vhodný pro širší spektrum povlakovacích technologií. Materiál Tenasteel se dodává v žíhaném stavu s max. tvrdostí 250 HB [22].

Chemické složení

Tab. 3.2 Chemické složení oceli TENASTEEL [22]

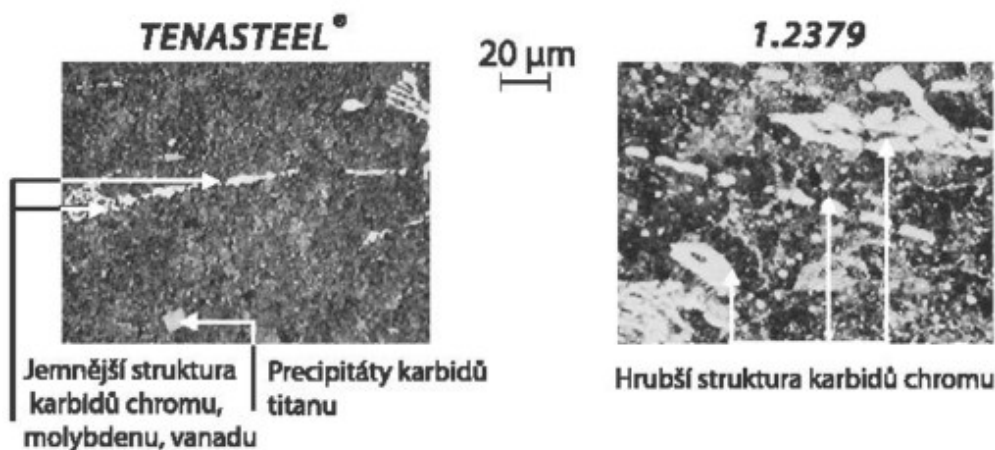
Chemické složení [hm. %]	C 1	Mn 0,35	Cr 7,5	Mo 2,6	V 3
Značka oceli	HP1				

Použití

Ocel TENASTEEL kvalitněji nahradí klasickou ocel 1.2379 ve všech oblastech jejího použití – nástroje na stříhání a tváření kovů, stříhání hliníku, nerezové oceli, mědi atd. Další použití je možno v segmentu zpracování oceli a recyklace (nože, nůžky,...). TENASTEEL je velmi vhodný ke zpracování vysokopevnostních plechů např. v automobilovém průmyslu [22].

Mikrostruktura

Mikrostruktura oceli TENASTEEL v dodávaném stavu je tvořena feritickou maticí, v níž jsou homogenně rozloženy jemné primární karbidy, které se vytvořily při tuhnutí i sekundární karbidy, vytvořené po žíhání. Mohou to být jednoduché karbidy jako jsou karbidy titanu, nebo složitější karbidy chromu molybdenu a vanadu. Díky této jemnější struktuře se značně zlepšila houževnatost a obrobitelnost. Vliv karbidů, které jsou tvrdší než karbidy v mikrostruktuře 1.2379, je abrazivní odolnost oceli na vysoké úrovni [23].



Obr. 3.4 Porovnání mikrostruktury oceli TENASTEEL a 1.2379 [23]

3.1.3 Povrchová úprava střížníku

Střížník je přeastřován broušením na čele, přičemž vrstva odebraného materiálu po jednom přeastření bývá kolem 0,2 mm. Povlaky se vytvářejí na bočních stěnách a čele střížníku. Po přeastření zůstává povlak pouze na boční stěně.

Některé nástroje z ocelí pro práci za studena lze povrchově upravit. Úkolem povrchové úpravy je snížit tření a dosáhnout větší odolnosti proti opotřebení. Nejčastěji používané úpravy jsou nitridování a povrchové povlakování metodou PVD nebo CVD [23].

Rozdělení druhů povlaků (bez ohledu na způsob přípravy vrstvy PVD nebo CVD):

- Povlaky na bázi sloučenin titanu [TiC, TiN, Ti(N,C)] (Jsou nejrozšířenějšími povlaky vyhovující současným požadavkům. Kovovou fázi nitridu nebo karbidu je možno nahradit nebo doplnit jinými prvky, např. hliníkem - povlak typu (Ti,Al)N nebo chrómem CrN.)
- Tvrdé keramické povlaky Al_2O_3 , TiB_2 (Vyznačují se dobrou odolností vůči abrazivnímu opotřebení, tepelnou stabilitou, vysokou tvrdostí. Jejich nevýhodou je křehkost a také přilnavost k základnímu materiálu je nižší než u Ti povlaku. Al_2O_3 bývá obvykle součástí vícevrstvého povlaku.)
- Vysokotvrdé tenké CVD vrstvy diamantu (Vyznačují se vysokou tvrdostí, nízkým koeficientem tření, vysokou tepelnou vodivostí a nízkým koeficientem tepelné roztažnosti. Jejich nevýhodou je afinita k uhlíku, proto je jejich použití omezeno na neželezné a nekovové materiály. Vysokotvrdé vrstvy CBN (kubický nitrid bóru, jejich použití je ve vývoji)

- Tenké vrstvy tuhých mazadel (Tvrdé vrstvy s nízkým koeficientem tření, amorfované vrstvy kov-uhlík, nebo měkké vrstvy typu MoS_2 nanášené na povrch před začátkem procesu řezání za účelem snížení tření a opotřebení nebo vrstvy WC/C složené z amorfního uhlíku a nanokrystalických zrn WC (10 až 20 nm.) [7])

Významné zastoupení mezi množstvím technologií nanášení povlaku na řezné nástroje mají procesy tvoření tenkých vrstev z plynné fáze (PVD a CVD). Povrch materiálu, na kterém se povlak tvoří, reaguje s přítomnou plynnou fází materiálu ve formě elementárních částic (atomy nebo molekuly). Částice plynné fáze materiálu proudí ze zdroje povlakování směrem k nanášenému povrchu, kde kondenzuje a reaguje s jeho atomy [7].

CVD – chemická metoda nanášení povlaku (teplá)

Je průmyslně nejrozšířenější metoda, založená na reakci plynných chemických sloučenin nad povrchem substrátu a jejich následném ukotvení na tento povrch. Proces chemického nanášení povlaku je používán především na tvoření tvrdých otěruvzdorných povlaku na nástrojích se slinutých karbidů. Vysoká teplota CVD procesu okolo 800°C omezuje použití pro nástroje, které si zachovávají tvrdost a vydrží teploty procesu kolem 1000°C . Technologie CVD není vhodná pro povlakování rychlořezných ocelí a cermetu [7].

PVD – fyzikální metoda nanášení povlaku (studená)

Procesy probíhají ve vakuu a umožňují nanášení vrstev už od nízkých teplot kolem 300°C . Fyzikální nanášení povlaku je vhodné pro rychlořezné a jiné nástrojové oceli. Povlaky nevyžadují žádné dokončovací leštění nebo broušení, jelikož dobře kopírují povrch na rozdíl od metod CVD [7].

Povrchová úprava oceli TENASTEEL

PVD – materiál se může usazovat při teplotě 200 až 500°C , a proto nesnižuje tvrdost základního materiálu. Tímto způsobem lze vytvořit povrchovou vrstvu o síle několika mikronů a tvrdostí až 2000HV [23].

CVD – Teplota potřebná pro tuto reakci je velmi vysoká a dosahuje až $800 - 1000^\circ\text{C}$. Pro obnovení původní tvrdosti základního materiálu je následně nutno provést tepelné zpracování. Tvrdost dosažená tímto způsobem může být vyšší než 2500 HV v závislosti na typu napařovaného materiálu. Po CVD je třeba provést kompletní úpravu (kalení a dvojnásobné temperování) všech kusů [23].

3.2 Návrh nového WEDM stroje

3.2.1 Posouzení situace

Z důvodu stárnutí strojů klesá jejich produktivita, zvyšují se náklady na provoz a tím i na samotnou výrobu součástí. I když se konstrukční úpravou (popsáno v kapitole 3.1) produktivita zvýší, je i přesto z dlouhodobého hlediska nákup nového stroje opodstatněný. Očekává se, že by nový stroj mohl nahradit dva ze tří stávajících strojů a také jeho nepřetržitý třísměnný provoz. Na nový stroj doporučuji zavést výrobu vysokých střížníků menších rozměrů a úzkých tvarů, u kterých konstrukční úpravu nelze provést a jejich výška musí být zachována z důvodu upínání a naopak výrobky s dlouhými řezy, aby se využilo produktivity stroje z pohledu pracovního času.

3.2.2 Produktivita

Stroj pro elektroerozivní řezání nemusí být produktivním i přesto, že je dosahováno velkých rychlostí řezání, protože produktivitu obráběcího stroje určuje několik veličin. Elektroerozivní řezání se stane produktivním po vzájemném sladění všech funkcí, kterými jsou seřizování, programování, optimalizované vedlejší časy vyjiskřování a technologie řezání [24].

3.2.3 Výrobci elektroerozivních drátových řezaček

GF AgieCharmilles

AgieCharmilles je součástí švýcarské skupiny Georg Fischer. Dnes má 50 poboček po celém světě včetně České republiky a více než 2500 zaměstnanců. Firma Agie uvedla na trh v roce 1969 první sériově vyráběnou NC – řízenou elektroerozivní řezačku. V roce 1983 Georg Fischer kupuje Ateliers des Charmilles a vzniká Charmilles Technologies SA. V roce 1996 kupuje Georg Fischer Agie a vzniká Agie Charmilles Group, nejsilnější skupina v oblasti EDM obrábění. V roce 1999 představila firma novou EDM značku Actspark určenou především pro asijský trh. O rok později uskutečňuje firma záměr kompletně nabízet obráběcí stroje pro výrobu forem a nástrojů, kupuje divizi frézovacích strojů firmy Mikron. V roce 2007 dochází ke sjednocení původních značek na +GF+ AgieCharmilles [24].

Fanuc

Japonská společnost založena v roce 1956. Firma Fanuc uvedla první stroj WEDM v roce 1975. Dnes patří k předním výrobcům elektroerozivních drátových řezaček, avšak tyto stroje jsou malou částí široké produkce firmy. V České republice je společnost Fanuc zastupována firmou PENTA TRADING s.r.o. [26], [27].

Sodick

Japonská společnost založena v roce 1976. Dnes má 27 poboček a více než 2500 zaměstnanců. Produkuje především stroje pro EDM. V roce začala firma 1981 vyrábět elektroerozivní drátové řezačky. Výhradním dodavatelem produktů firmy Sodick je pro Českou republiku společnost Zenit, která byla pověřena vybudováním technologického centra pro střední a východní Evropu. Technologické centrum je umístěno v Blansku (Česká republika) [28], [29].

Mitsubishi

Největší japonská obchodní společnost, která má více než 200 poboček v 80 zemích po celém světě. V roce 1870 ji založil Yataro Iwasaki. Zaměstnává přibližně 60 000 lidí. Zabývá se automobilovým, energetickým, strojírenským, chemickým a potravinářským průmyslem, životním prostředím a podnikáním. První elektroerozivní drátový řezací stroj byl vyroben v roce 1987 [30].

Seibu

Japonská společnost založena v roce 1927. Dnes má více než 400 zaměstnanců. Svou první NC drátovou řezačku vyvinula v roce 1972. Od roku 2003 začala firma vyrábět sérii řezaček M (M500S, M350S, M750) poté následují série MM (MM350S, MM500S) a MP (MP250) [31], [33]. V české republice zajišťuje prodej a servis společnost ANCORA PRAHA, spol. s.r.o.

ONA

Španělská společnost založena v roce 1952, za účelem vyrábět speciální obráběcí stroje (EDM). Svou první elektroerozivní drátovou řezačku vyrobila v roce 1977. Výhradním zástupcem firmy je v České republice společnost Newtech s.r.o. [32]

3.2.4 Vybrané typy strojů jednotlivých výrobců

Výběr jednotlivých strojů vybraných značek je proveden podle rozměrových požadavků na vyráběné součásti ve firmě MASSAG Stamping a.s. U všech vybraných značek je v České republice zajištěn prodej a servisní služby.

Tab. 3.3 Přehled strojů jednotlivých značek a jejich parametry [33], [34], [35].

značka	GF AgieCharmilles	Fanuc	Sodick
typ stroje	AC Progress VP3	FANUC 1iE	AQ750L
rozměr [mm] (délka x šířka x výška)	1940 x 2300 x 2600	2440 x 2840 x 3330	2050 x 2850 x 2295
hmotnost stroje [kg]	3460	3000	6000
dráha pojezdu X,Y,Z [mm]	500 x 350 x 426	600 x 400 x 310	750 x 500 x 400
osy U,V [mm]	70	100	770 x 520
úhel a výška úkosu [°/mm]	30°/100	45°/70, 30°/150	30°
max. rozměr obrobku [mm] (délka x šířka x výška)	1050 x 650 x 420	1050 x 820 x 300	1050 x 750 x 400
max. hmotnost obrobku [kg] (s/bez lázně)	400/800	800/1000	3000
objem dielektrika [l]	1000	910	1030
použitelný průměr drátu [mm]	0.15 - 0.33	0.1 - 0.3 (0.05)	0.15 - 0.33

Tab. 3.4 Přehled strojů jednotlivých značek a jejich parametry [36], [37], [38].

značka	Mitsubischi	Seibu	ONA
typ stroje	FA20-S Advance	MM 500 S	AF 35
rozměr [mm] (délka x šířka x výška)	2420 x 2710 x 2150	2245 x 2070 x 1810	2530 x 2715 x 2800
hmotnost stroje [kg]	3500	3500	4000
dráha pojezdu X,Y,Z [mm]	500 x 350 x 320	500 x 350 x 310	600 x 400 x 400
osy U,V [mm]	75 x 75	120 x 120	120 x 120
úhel a výška úkosu [°/mm]	15°/100	10°/300	30°/87
max. rozměr obrobku [mm] (délka x šířka x výška)	1050 x 800 x 295	800 x 650 x 310	1060 x 750 x 400
max. hmotnost obrobku [kg] (s/bez lázně)	1500	800	1500
objem dielektrika [l]	740	x	1000
použitelný průměr drátu [mm]	0.1 - 0.36	0.1 - 0.3	0.1 - 0.33

3.2.5 Náklady na pořízení nového stroje

Pořizovací cena je jedním z hlavních kritérií při výběru WEDM stroje. Do kalkulace ceny obrobku je nutno zahrnout pořizovací cenu, která je dána nákupem, dopravou, instalací a seřazením stroje a následně převést na cenu výlisku zhotoveného lisovacím nástrojem, při jehož výrobě je WEDM technologie použita. Cena nových strojů se vlivem velké konkurence, sériovosti při jejich výrobě a nových poznatků ve výpočetních systémech snižuje a to i přes jejich rostoucí výkonnost a přesnost, větší vybavení a možnosti. Průměrná pořizovací cena strojů uvedených v (Tab. 3.1) je přibližně 4 mil. Kč. Zisk z prodeje dvou stávajících strojů je odhadován na 0,5 mil. Kč. Investice do pořízení nového stroje se pozitivně projeví ve snížení provozních nákladů.

3.2.6 Provozní náklady

V provozních nákladech jsou zahrnuty všechny náklady vynaložené na provoz stroje. Při kalkulaci jsou provozní náklady stejně jako pořizovací cena stroje zahrnuty do ceny obrobku a následně převedeny na cenu výlisku zhotoveného lisovacím nástrojem, při jehož výrobě je WEDM technologie použita. V provozních nákladech jsou zahrnuty:

Náklady na drátovou elektrodu

Tvoří podstatnou část provozních nákladu, a proto je velmi důležité zvážit její výběr. Cena drátové elektrody je závislá na kvalitě a její výběr je dán i zkušenostmi provozovatele. Firma MASSAG Stamping a.s. má dlouholetou dobrou zkušenost s nejpoužívanějším mosazným drátem PentaCut – T (více v podkapitole 2.3.1).

Náklady na spotřební materiál

Zde je zařazeno několik částí stroje, jejichž funkčnost je časově omezena a musí se průběžně měnit nebo doplňovat. Jedná se o deionizační pryskyřici (Obr. 2.10), filtry dielektrika (Obr. 2.11), olej, vodítka drátu, výplachová tryska, ložiska a kontakty přivádějící proud na drátovou elektrodu.

Náklady na obsluhu

Zahrnuje plat pracovníka obsluhujícího WEDM pracoviště. Operátor vytváří programy, provádí obsluhu stroje, dohlíží na jejich chod a stará se o údržbu strojů a pracoviště.

Ostatní náklady

Hlavní položkou je spotřebovaná elektrická energie, dále se zde zařazují náklady spojené s poruchami, kdy vznikají prostoje a v některých případech je nutno zařídit odborný servis nebo pořídit poškozené či porouchané náhradní díly.

3.2.7 Kalkulace nákladů na WEDM pracovišti

Kalkulací se rozumí přiřazení nákladů na jednu kalkulační jednici. (*Kalkulační jednici* je jednotka výkonu, např. 1 ks, 1 kg, 1 hodina). Pro stanovení kalkulace na WEDM pracovišti je kalkulační jednotkou hodina.

Náklady přímé (jednicové) – mohou se stanovit přímo (patří zde výše zmíněné náklady na pořízení stroje a provozní náklady).

Náklady nepřímé (režijní) – nelze je stanovit přímo (patří zde výrobní režie, správní režie, zásobovací režie a odbytová režie).

- Výrobní režie – patří zde všechny náklady, které vznikají při výrobě, nesouvisí přímo s výrobkem. Režijní materiál (procesní kapalina), režijní dělníci (vazači), vytápění, osvětlení, manipulační operace.
- Správní režie – řízení, organizace, administrativa.
- Odbytová režie – náklady spojené s odbytem výrobku, balením, dovozem k zákazníkovi, marketingem, reklamou.

Přirážková kalkulace – Je používána v případech, kdy firma vyrábí různé druhy výrobků. Nepřímé náklady nelze jednoznačně přiřadit kalkulované jednici výkonu. V tomto případě se stanoví nepřímé náklady procentuální přirážkou přímých nákladů.

Celkové náklady – součet přímých a režijních nákladů.

Zisk – zisková marže.

Hodinová sazba pro elektroerozivní drátové řezačky je určena součtem celkových nákladů a zisku, pohybuje v rozmezí 600 až 800 Kč.

4. Zhodnocení a přínosy navrženého řešení

Diplomová práce je zaměřena na výrobu střížníku. V jejím obsahu je vyřešena problematika procesu elektroerozivního řezání střížníku včetně návrhu nového materiálu a navržena nová elektroerozivní drátová řezačka.

Proces elektroerozivního řezání střížníku je vyřešen použitím podložky (Obr. 3.1, Obr. 3.2). Podložka je určena k podložení střížníku a nahrazení jeho původní výšky. Řezaná výška se po této úpravě sníží na polovinu a sníží se počet řezů ze tří na dva. Je nutno si uvědomit, že není možné provést navrženou konstrukční úpravu pro všechny střížníky. Konstrukční úprava střížníku je však velkým přínosem k zvýšení produktivity řezání, neboť proces jejich řezání je zdoluhavý. Po této úpravě se u střížníku délka pracovního času stroje sníží přibližně o polovinu.

Kromě návrhu procesu elektroerozivního řezání střížníku je téma diplomové práce zaměřeno i na návrh nového materiálu pro střížníky. Je mnoho materiálu, které se pro střížníky používají, je však nutno zvážit jejich výběr podle materiálu, který bude daným střížníkem stříhán. Ukázkovým střížníkem (Obr. 2.21) je stříhána nejčastěji používaná ocel na výlisky S355NC. Doposud používaný materiál střížníku 1.2379 má poměrně dobré vlastnosti pro stříhání takovéto oceli, ale jeho nevýhodou je křehkost a velmi obtížná brousitelnost. Tyto nevýhody nemá nově navržená ocel TENASTEEL, která byla vyvinuta k nahrazení výše zmíněné oceli. Nahrazení doposud nejčastěji používané nástrojové oceli moderní technologicky vyspělým nástrojovým materiálem TENASTEEL je nepochybně přínosem.

Klesající produktivita je nepochybně vyvolána stárnutím strojů, což se projevuje i vyššími provozními náklady. Nabízí se zahrnout do návrhu diplomové práce i pořízení nového stroje. Návrh na pořízení nového stroje je novou myšlenkou, proto je v této práci zaměřen na přehled výrobců a výběr produktu od jednotlivých značek podle rozměrových požadavků na vyráběné součásti ve firmě MASSAG Stamping a.s.

5. Závěr

Diplomová práce byla zpracována ve firmě MASSAG Stamping a.s. Je zaměřena na návrh procesu elektroerozivního řezání. Stávající proces výroby střížných nástrojů je prováděn na pracovišti se třemi elektroerozivními řezačkami. Záměrem je zvýšit klesající produktivitu výroby na tomto pracovišti, která je dána stárnutím strojů. Klesající produktivita se projevuje ve zvyšování provozních nákladů.

Návrhem je změna konstrukce a technologie výroby střížníku, jejichž výška v porovnání s ostatními částmi nástroje vyráběnými na WEDM pracovišti (střížné desky, vodící desky, kotevní desky) je z konstrukčních důvodů větší. Střížníky jsou vyráběny ve výšce 100 mm. Při řezání takovéto výšky se stárí stroje značně projevuje. Proces řezání je časově náročný z důvodu nízké řezné rychlosti a také potřeby použití metody tří řezů. Střížníky větších rozměrů je možno vyrábět jako dělené. Dělený střížník se skládá z funkční části z nástrojové oceli 50 mm a podložky 50 mm, která kompenzuje původní výšku střížníku. Oba díly jsou spojeny šrouby a vystředěny pomocí stavěcích kolíků. Podložku je možno vyrobit konvenčními metodami obrábění nebo kombinací konvenčních a nekonvenčních metod obrábění. Nekonenční metodou lze vyrobit obvod podložky (např. pálení paprskem plasmou nebo vodním paprskem). Proces řezání funkční části, je po této konstrukční úpravě rychlejší. Zvýší se rychlost řezu a sníží jejich počet na dva. Konstrukční úpravu nelze provést u střížníku menších rozměrů a úzkých tvarů, z důvodu nemožného spojení obou částí.

Část diplomové práce je věnována návrhu materiálu pro střížníky. Je celá řada materiálu používaných k výrobě střížníku a pro konkrétní výběr je určující jaký materiál budou stříhat. Současně nejpoužívanějším nástrojovým materiálem je ocel 1.2379. Tato ocel je pro střížníky velmi často používána. Stejně je tomu i u ukázkového střížníku (Obr. 2.21), který stříhá pás oceli S355NC. Nevýhodou nástrojového materiálu 1.2379 je jeho křehkost a velmi obtížná brousitelnost. Jako náhrada této oceli je navržena ocel TENASTEEL. Jde o ocel, která kvalitněji zastoupí doposud používanou ocel, neboť byla vyvinuta jako její náhrada.

Nabízí se také návrh na zakoupení nového stroje. Očekává se, že by nový stroj byl schopen nahradit dva ze tří současných strojů při stejném třísměnném provozu. V Tab. 3.3 a Tab. 3.4 je proveden přehled strojů od různých značek podle rozměrových požadavků na vyráběné součásti ve firmě MASSAG Stamping a.s.

Pořizovací cena nového stroje je přibližně 4 mil. Kč. Odhadovaný zisk z prodeje nahrazovaných strojů je 0,5 mil. Kč. Investice na pořízení nového stroje se pozitivně projeví ve snížení provozních nákladů. Z důvodu produktivity a maximálního využití pracovního času stroje doporučuji na nový stroj zavést výrobky s dlouhými řezy a střížníky u nichž nelze provést konstrukční úpravu a jejich výška musí být zachována.

Děkuji paní Ing. et Ing. Mgr. Janě Petrů, Ph.D. z katedry obrábění a montáže VŠB – TU Ostrava za rady a připomínky k vypracování diplomové práce, panu T. Dragomirovi vedoucímu nástrojárny firmy MASSAG Stamping a. s. za odborné připomínky při řešení praktické části práce, operátorovi pracoviště WEDM panu P. Sobotkovi a panu Ing. J. Chovancovi za odborné posouzení diplomové práce.

Použitá literatura

- [1] BARCAL, J. *Nekonvenční metody obrábění*. 1. Vyd. Praha: Evidenční středisko ČVUT, 1989. 122 s.
- [2] MAŇKOVÁ, I. *Progresívne technológie*, Technická univerzita Košice, Vienaľa, Košice, 2000, ISBN 80-7099-430-4.
- [3] ŘASA, J., POKORNÝ, P. A GABRIEL, V. *Strojírenská technologie 3 – 2.díl*. Obráběcí stroje pro automatizovanou výrobu, fyzikální technologie obrábění. 1. Vyd. Praha: Scientia 2001. 221 s. ISBN 80-7183-227-8.
- [4] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II - 2. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, 150 s. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [5] SADÍLEK, M. *Nekonvenční metody obrábění I*. Ostrava: Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2009, 152 s. ISBN 978-80-248-2107-8.
- [6] KOTOUČ, J.; ŠANOVEC, J.; ČERMÁK, J.; MÁDLE, L. *Tvářecí nástroje*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1993, 349s. ISBN 80-01-01003-1.
- [7] JURKO, J., ZAJAC, J., ČEP, R. *Top trendy v obrábění II. část – Nástrojové materiály*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2006, 193s. ISBN 80-968954-2-7.
- [8] LAINVEBER, Jan; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. 4. Vyd. Praha 6: ALBRA, 2008. 913 s. ISBN 978- 80- 7361- 051- 7.
- [9] Shaw, Milton C. (2005). *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. p. 651. ISBN 0-19-514206-3.
- [10] VELTEROP, L. *Influence of wire electrical discharge machining on the fatigue properties of high strength stainless steel*. [online]. [citováno: 14.1.2011]. URL: <http://www.nlr.nl/id~2861/lang~en.pdf>
- [11] SCOTT F., MILLER, CHEN-C. KAO, ALBERT J. SHIH, JUN QU. *Investigation of wire electrical discharge machining of thin cross-sections and compliant mechanisms*. [online]. [citováno: 14.1.2011]. URL: http://wumrc.engin.umich.edu/shiha/jpapers/05_MTM_WEDM_thin_section.pdf
- [12] When to EDM. [online]. [citováno: 14.1.2011]. URL: http://www.charmillesus.com/products/edm/When_to_EDM_JULY08.pdf
- [13] Hitachi Cable [online]. [citováno: 23.1.2011]. URL: <http://www.hitachi-cable.co.jp/en/about/publish/review/n22.html>
- [14] Wedm [online]. [citováno: 23.1.2011]. URL: <http://www.wedm.cz/cesky/elektroerozivni-rezani/jak-to-pracuje>
- [15] Fermat [online]. [citováno: 25.1.2011]. URL: <http://www.fermatmachinery.com/cs/392-pouziti-edm-technologie/1121-elektroerozivni-dratove-rezani.html>
- [16] Peps [online]. [citováno: 28.1.2011]. URL: <http://www.peps3d.cz/edm.html>
- [17] MASSAG Stamping a.s. [online]. [citováno: 20.2.2011]. URL: http://www.mgst.cz/prezentace_massag.pdf
- [18] LENFELD, P.; Technologie II, Část I – Technologie tváření kovů, Interaktivní studijní text, TU Liberec, Fakulta strojní, Ústav strojírenské technologie, [online]. [citováno: 20.2.2011]. URL: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm#066

- [19] PENTA Trading s.r.o., [online]. [citováno: 25.2.2011].
URL: http://www.penta-edm.cz/dokumenty/spotrebni_material/drat_pc_t.jpg
- [20] Marie Špinlerová, *Technologie* [online]. [citováno: 15.2.2011].
URL: <http://sst.opava.cz/technologie/technologie.pdf>
- [21] Böhler Uddeholm CZ s.r.o., [online]. [citováno: 26.2. 2011].
URL: <http://www.uddeholm.cz/czech/files/sverker21.pdf>
- [22] JKZ Bučovice, a.s., [online]. [citováno: 27.2.2011].
URL: <http://www.jkz.cz/cs/produkty/tenasteel>
- [23] JKZ Bučovice, a.s., [online]. [citováno: 27.2.2011].
URL: http://www.jkz.cz/cs/system/files/page/2010/04/tenasteel_pdf_48348.pdf
- [24] BRANDA, M., Obráběcí stroje, MM průmyslové spektrum, [citováno: 27.3.2011].
<http://www.mmspektrum.com/clanek/elektroerozivni-stroje>
- [25] Toolscomp, [online]. [28.3.2011].
URL: <http://www.toolscomp.cz/znacky/-gf/>
- [26] PENTA Trading s.r.o., [online]. [citováno: 8.4.2011].
URL: <http://www.penta-edm.cz/index.php>
- [27] FANUC FA CZ s.r.o., [online]. [citováno: 8.4.2011].
URL: <http://www.fanucfa.com/cz-cz/Home>
- [28] Sodick Co.,Ltd, [online]. [citováno: 8.4.2011].
<http://www.sodick.cz/countries/cz/technologicke-centrum-firmy-sodick-v-ceske-republice.html>
- [29] Sodick Co.,Ltd, [online]. [citováno: 8.4.2011].
URL: <http://www.sodick.jp/company/>
- [30] Mitsubishi corporation, [online]. [citováno: 9.4.2011].
URL: <http://www.mitsubishicorp.com/jp/en/about/index.html>
- [31] SEIBU & ELECTRICMACHINERY CO.,LTD., [online]. [citováno: 9.4.2011].
<http://www.seibudenki.com/company.html>
- [32] ONA ELECTROEROSION S.A. Spain, [online]. [citováno: 9.4.2011].
URL: http://www.ona-electroerosion.com/index.php?option=com_content&view=article&id=86&Itemid=104&lang=en#
- [33] SEIBU & ELECTRICMACHINERY CO.,LTD., [online]. [citováno: 4.4.2011].
http://dns1.seibudenki.co.jp/products_eng/
- [34] +GF+ AgieCharmilles s.r.o., [online]. [citováno: 4.4.2011].
<http://www.gfac.com/cz/produkty/elektroerozivni-dratove-rezani/vysokorychlostni-obrabeni/ac-progress-vp3.html>
- [35] PENTA Trading s.r.o., [online]. [citováno: 4.4.2011].
<http://www.penta-edm.cz/index.php?text=111-fanuc-1ie>
- [36] Sodick Co.,Ltd, [online]. [citováno: 3.4.2011]
URL: http://www.sodick.cz/assets/files/brochures/brosch_aq750l_aq900l_cz.pdf
- [37] EDM TRADE s.r.o., [online]. [citováno: 3.4.2011].
URL: <http://www.edmtrade.cz/rezacky-detail/model-fa20s.html>
- [38] ONA ELECTROEROSION S.A. Spain, [online]. [citováno: 3.4.2011].
http://www.ona-electroerosion.com/index.php?option=com_content&view=article&id=95&Itemid=119&lang=en

Seznam příloh

Příloha A – výrobní výkres součásti (pro ukázkou stávajícího typu výroby)

Příloha B – upravený výkres součásti – střižník

Příloha C – upravený výkres součásti – podložka